

การเลือกใช้ตัวแปรสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่าควบคุม
แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสมัยใหม่

FEATURE SELECTION FOR ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO COMPUTE
VOLTAGE CONTROL SETPOINTS IN MODERN POWER SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-020-042

การเลือกใช้ตัวแปรสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่าควบคุม
แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสมัยใหม่

FEATURE SELECTION FOR ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO COMPUTE
VOLTAGE CONTROL SETPOINTS IN MODERN POWER SYSTEM



สงวน.....
เลขทะเบียน 148268
รับเดือนปี 18 ต.ค. 2560

b. 12868061
f.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-020-042
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURE SELECTION FOR ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO COMPUTE
VOLTAGE CONTROL SETPOINTS IN MODERN POWER SYSTEM



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMUTL-2017-EN-M-020-042



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเลือกใช้ตัวแปรสำหรับโครงข่ายประสาทดัดเทียมเพื่อคำนวณค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้า
ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสมัยใหม่

Thesis Title Feature Selection for Artificial Neural Network to Compute Voltage Control
Setpoints in Modern Power System

นักศึกษา นายอิศรา ผ่านเมือง

รหัสประจำตัว 55610754

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วรวรรณ นาคะวีโร

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-020-042

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|---------------|--|
| ผศ.ดร.สัญญาชัย | เดชาณุภาพฤทธา |  |
| ศ.ดร.อิสระชัย | งามหรรุ |  |
| ดร.วรุฒม์ | สุอำพัน |  |
| ดร.เปี่ยมภูมิ | สฤกพฤกษ์ |  |
| ผศ.ดร.วรวรรณ | นาคะวีโร |  |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คนบตี คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2560

| | |
|-----------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การเลือกใช้ตัวแปรสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสมัยใหม่ |
| นักศึกษา | นาย อิศรา ผ่านเมือง |
| รหัสประจำตัว | 55610754 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมไฟฟ้า |
| พ.ศ. | 2560 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผศ.ดร. วรวรรธน์ นาคะวิโร |

บทคัดย่อ

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสมัยใหม่ที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนกำลังเป็นปัญหาการดำเนินงานที่มีความท้าทาย เนื่องจากการป้อนเข้าของกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอและยากที่จะคาดเดาได้ ในระยะหลังโครงข่ายประสาทเทียมจึงได้ถูกนำมาใช้กับปัญหาดังกล่าวอย่างกว้างขวาง หากแต่หนึ่งในปัจจัยของความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการจัดกลุ่มด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคมากที่สุด อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุมแรงดันในระบบ และให้ค่าผลลัพธ์ของรูปแบบแรงดันที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีเปรียบเทียบกับอื่น ๆ

| | |
|----------------|---|
| Thesis | Feature Selection for Artificial Neural Network to Compute Voltage Control Setpoints in Modern Power System |
| Student | Mr. Issara Phanmuang |
| Student ID. | 55610754 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Electrical Engineering |
| Year | 2017 |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Worawat Nakawiro |

ABSTRACT

Voltage control in modern distribution system having renewable sources has become a challenging exceptional problem because the power infeed is intermittent and hard to be predicted. Artificial neural network (ANN) has been recently adopted to solve the problem. However, one of the key success factors of such application is the method for selecting suitable feature for ANN. Therefore, a new Pearson correlation based on feature selection using K-mean method was proposed in this thesis. The simulation result reveals that the ANN based on the proposed feature selection method can provide high accuracy of control signal computation when compared with Particle swarm optimization. Moreover, such predicted signals can be used for voltage control signals in system, and provide the best voltage profiles when compared with other methods.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณจากความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วรวรรณ นาคะวิโร ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และแนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้าในตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.อิสระชัย งามหรุ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ ห้องปฏิบัติการในการทำงานวิจัย และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อน พี่และน้อง ๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการ Electrical Power Application Research Laboratory (EPARL407) ที่ตี ECC ที่ได้คอยอยู่เป็นกำลังใจ แนะนำ และช่วยเหลือกันมาโดยตลอดระยะเวลาของการศึกษา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้า ที่ให้ความรักและเลี้ยงดูข้าพเจ้ามาโดยตลอด คอยสนับสนุนทุก ๆ เรื่องไม่เคยขาด และคอยเป็นให้กำลังใจที่ดีมาก ๆ เสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ข้าพเจ้าได้เคยถูกอบรมสั่งสอน ได้รับการประสาทวิชาความรู้ ถวายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า แต่หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

อิศรา ผ่านเมือง

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VII |
| สารบัญรูป..... | IX |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 2 |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย..... | 3 |
| 1.5 ขอบเขตของการศึกษา..... | 3 |
| 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค..... | 5 |
| 2.1.1 แนวคิดของการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค..... | 5 |
| 2.1.2 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีแบบกลุ่มอนุภาค..... | 5 |
| 2.2 สหสัมพันธ์..... | 9 |
| 2.3 การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster Analysis..... | 9 |
| 2.3.1 K-Means Clustering..... | 9 |
| 2.3.2 ชนิดของตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-Means Clustering..... | 10 |
| 2.3.3 ขั้นตอนในการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี K-Means Clustering..... | 10 |
| 2.4 โครงข่ายประสาทเทียม..... | 11 |
| 2.4.1 แบบจำลองเซลล์ประสาท..... | 11 |
| 2.4.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม..... | 14 |
| 2.4.3 กระบวนการเตรียมข้อมูลก่อนทำการประมวลผล..... | 15 |
| 2.4.4 กระบวนการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน..... | 17 |
| 2.4.5 การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ..... | 18 |
| 2.4.6 กระบวนการแปลงข้อมูลกลับหลังทำการประมวลผล..... | 20 |
| บทที่ 3 ระบบที่ใช้ การเก็บชุดข้อมูล และวิธีการคัดเลือกตัวแปร..... | 21 |
| 3.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ..... | 22 |
| 3.2 การเก็บชุดข้อมูล..... | 22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.2.1 ขอบเขตค่าของอุปกรณ์ในแต่ละเหตุการณ์..... | 22 |
| 3.2.2 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยกระบวนการแบบกลุ่มอนุภาค..... | 24 |
| 3.3 วิธีการคัดเลือก และการกำจัดตัวแปร..... | 28 |
| 3.3.1 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 29 |
| 3.3.2 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1..... | 36 |
| 3.3.3 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2..... | 37 |
| 3.3.4 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 38 |
| 3.3.5 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4..... | 41 |
| 3.4 สรุปวิธีการ และจำนวนตัวแปรที่ได้ในแต่ละวิธีการคัดเลือกตัวแปร..... | 41 |
| บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของการคัดเลือกตัวแปรกับโครงข่ายประสาทเทียม..... | 43 |
| 4.1 ขอบเขต และลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้..... | 43 |
| 4.2 ลักษณะของการแบ่งชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ..... | 44 |
| 4.3 ลักษณะการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ทดสอบ..... | 44 |
| 4.4 ผลที่ได้จากการทดสอบชุดตัวแปรของแต่ละวิธีกับโครงข่ายประสาทเทียม..... | 47 |
| 4.4.1 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 47 |
| 4.4.2 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1..... | 47 |
| 4.4.3 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2..... | 48 |
| 4.4.4 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 49 |
| 4.4.5 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4..... | 50 |
| 4.5 สรุปผลการทดสอบที่ได้ทั้งหมด และสมมุติฐานของค่าความผิดพลาด..... | 50 |
| บทที่ 5 ผลการทดสอบการควบคุมแรงดันไฟฟ้า..... | 52 |
| 5.1 เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าควบคุมแรงดัน..... | 52 |
| 5.2 ผลการทดสอบค่าควบคุมแรงดัน..... | 52 |
| 5.2.1 การควบคุมแรงดันจากวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบ..... | 53 |
| 5.2.2 การควบคุมแรงดันจากค่าที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค..... | 54 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 5.2.3 การควบคุมแรงดันจากค่าที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียม..... | 55 |
| 5.2.3.1 วิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำเสนอ..... | 55 |
| 5.2.3.2 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 1..... | 56 |
| 5.2.3.3 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 2..... | 57 |
| 5.2.3.4 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 55 |
| 5.2.3.5 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 4..... | 59 |
| 5.3 สรุปผลการทดสอบค่าควบคุมแรงดันของวิธีต่าง ๆ..... | 60 |
| บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... | 62 |
| 6.1 สรุปผลการวิจัย..... | 62 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ..... | 63 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 64 |
| ภาคผนวก | |
| ก. ขนาดพิกัด และค่าตัวแปรต่าง ๆ ของระบบที่ใช้ในโปรแกรม DigSILENT PowerFactory..... | 69 |
| ข. ตารางค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตทั้งหมด กับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัว..... | 73 |
| ค. ตารางแสดงผลการจัดกลุ่มของตัวแปรแต่ละตัวด้วยวิธี K-mean ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 78 |
| ง. ตารางแสดงผลการจัดกลุ่มของตัวแปรแต่ละตัวด้วยวิธี K-mean ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 82 |
| จ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... | 87 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 93 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.1 ขอบเขตการสุ่มเหตุการณ์ต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 23 |
| 3.2 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 1 ด้วยวิธีที่ นำเสนอ..... | 30 |
| 3.3 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 ด้วยวิธีที่ นำเสนอ..... | 31 |
| 3.4 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 1 ด้วยวิธีที่ นำเสนอ..... | 31 |
| 3.5 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 2 ด้วยวิธีที่ นำเสนอ..... | 32 |
| 3.6 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 3 ด้วยวิธีที่ นำเสนอ..... | 32 |
| 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่ามากที่สุดของตัวแปรอินพุตกับตัวแปรเอาต์พุต ในวิธีเปรียบเทียบที่ 2..... | 37 |
| 3.8 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าของสายป้อน A ในวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 38 |
| 3.9 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าของสายป้อน B ในวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 40 |
| 4.1 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีการคัดเลือกที่นำเสนอ กับโครงข่ายประสาทเทียม..... | 47 |
| 4.2 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 1 กับโครงข่ายประสาทเทียม..... | 48 |
| 4.3 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 2 กับโครงข่ายประสาทเทียม..... | 48 |
| 4.4 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 3 กับโครงข่ายประสาทเทียม..... | 49 |
| 4.5 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 4 กับโครงข่ายประสาทเทียม..... | 50 |
| 4.6 สรุปการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ดีที่สุดของแต่ละวิธีการคัดเลือกชุดตัวแปร..... | 51 |
| 5.1 เปรียบเทียบการทดสอบค่าควบคุมแรงดันของวิธีต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 60 |
| 5.2 เปรียบเทียบการทดสอบค่าควบคุมแรงดันของวิธีต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 2..... | 61 |
| ก.1 ค่าตัวแปรในสายส่ง..... | 70 |
| ก.2 ค่าความต้องการของโหลด และค่ากำลังไฟฟ้าของ DG..... | 71 |
| ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตทั้งหมด กับตัวแปรเอาต์พุต แต่ละตัว..... | 74 |
| ค.1 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์ สันรวมของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 1 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 79 |
| ค.2 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์ สันรวมของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 80 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ค.3 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 1 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 80 |
| ค.4 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 2 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 80 |
| ค.5 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 3 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 81 |
| ง.1 การจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน A ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 83 |
| ง.2 การจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3..... | 84 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 การเคลื่อนที่เข้าหาคำตอบของอนุภาค..... | 8 |
| 2.2 ลักษณะการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ในแต่ละรอบ..... | 11 |
| 2.3 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมแบบหลายอินพุต..... | 12 |
| 2.4 ฟังก์ชันการกระตุ้นเชิงเส้น..... | 13 |
| 2.5 ฟังก์ชันการกระตุ้นลอกซิกมอยด์..... | 13 |
| 2.6 ฟังก์ชันการกระตุ้นแทนเจนท์ซิกมอยด์..... | 14 |
| 2.7 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นที่มีจำนวน 1 ชั้นซ่อน..... | 15 |
| 2.8 แผนภาพการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน..... | 17 |
| | |
| 3.1 ระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 45 บัส ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล..... | 21 |
| 3.2 กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่เหตุการณ์ต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 2.... | 23 |
| 3.3 แผนผังการสร้างและเก็บข้อมูลด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค..... | 26 |
| 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมกับจำนวนตัวแปรที่ใช้..... | 28 |
| 3.5 การแบ่งกลุ่มของสายป้อนเส้นย่อยทั้งหมดในระบบ ด้วยวิธีที่นำเสนอ..... | 29 |
| 3.6 ลักษณะกลุ่มของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 เมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3..... | 33 |
| 3.7 ลักษณะกลุ่มของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 3 เมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3..... | 35 |
| 3.8 ตำแหน่งตัวแปรของสายป้อน A ที่ได้ในวิธีเปรียบเทียบกับที่ 1..... | 36 |
| 3.9 ตำแหน่งตัวแปรของสายป้อน B ที่ได้ในวิธีเปรียบเทียบกับที่ 1..... | 36 |
| | |
| 4.1 แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดสอบที่จำนวนตัวแปร x อินพุต และ เซลล์ประสาทในชั้นซ่อน y ตัว..... | 44 |
| 4.2 อธิบายการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพในการทดสอบชุดตัวแปรใน 1 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน..... | 46 |
| | |
| 5.1 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบของชุดข้อมูลที่ 1..... | 53 |
| 5.2 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบของชุดข้อมูลที่ 2..... | 53 |
| 5.3 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากกระบวนการหาที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 54 |
| 5.4 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากกระบวนการหาที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ของชุดข้อมูลที่ 2..... | 55 |
| 5.5 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทเทียมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 55 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.6 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ ของชุดข้อมูลที่ 2..... | 56 |
| 5.7 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 1 ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 56 |
| 5.8 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 1 ของชุดข้อมูลที่ 2..... | 57 |
| 5.9 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 2 ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 57 |
| 5.10 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 2 ของชุดข้อมูลที่ 2..... | 58 |
| 5.11 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 3 ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 58 |
| 5.12 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 3 ของชุดข้อมูลที่ 2..... | 59 |
| 5.13 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 4 ของชุดข้อมูลที่ 1..... | 59 |
| 5.14 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทยูทึมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 4 ของชุดข้อมูลที่ 2..... | 60 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน [1,2] ดังนั้นทางรัฐมีนโยบายสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากทั้งทางรัฐเอง และทางเอกชนที่มาจากรองไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารายย่อยต่าง ๆ ที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบ (Distributed Generator : DG) [3,4] เพื่อให้ตอบสนองอย่างเพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นภายใต้เงื่อนไขของทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุนี้พลังงานทดแทนจึงถูกนำมาใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสมัยใหม่เพิ่มมากขึ้น [5-7] เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการลงทุน มีให้ใช้ได้อยู่อย่างไม่จำกัด และมีกำไรเมื่อเทียบกับต้นทุนในการติดตั้งมีแนวโน้มในทางที่ดีขึ้น [8,9] อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนการผลิตกำลังไฟฟ้าที่มาจากพลังงานทดแทนอาจสร้างปัญหาแก่ในระบบกำลังไฟฟ้าสมัยใหม่นี้ [10] เนื่องจากผลกระทบของปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเป็นสิ่งที่มนุษย์ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ปริมาณแสงแดด ฝุ่นควัน เมฆ ลมพายุ ฝน อุณหภูมิ เป็นต้น จึงทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทนไม่คงที่ และส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแรงดันในระบบไฟฟ้า [11] ทำให้ระดับของแรงดันไฟฟ้าอาจมีค่าสูง หรือต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานสากลที่กำหนด [12] ดังนั้นการจัดการและการควบคุมระบบไฟฟ้าจึงควรเป็นไปอย่างเหมาะสม เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ภายในเกณฑ์ที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล

การควบคุมระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าอาจทำได้โดยควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ เช่น การควบคุมการเชื่อมต่อหรือปลดออกของตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank) [13,14] หรือการใช้ Static Synchronous Compensator (STATCOM) ที่ทำงานร่วมกับระบบสะสมพลังงาน [15] เป็นต้น แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบประสานกันของการปรับจำนวนแท็บของหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าต้นทางในระบบจำหน่ายที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ในขณะต่ออยู่ในระบบ [16] (On Load Tap Changer : OLTC) คู่กับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator : AVR) ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบ [17,18] ทำหน้าที่คอยปรับสัญญาณควบคุมการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อปรับระดับแรงดันหน้าบัสให้เป็นไปตามที่ปรับตั้งไว้ ส่งผลให้ระดับแรงดันของบัสใกล้เคียงกันได้รับผลกระทบและเปลี่ยนแปลงตามไปอยู่ในเกณฑ์ของค่ามาตรฐานสากลตามมา ซึ่งการกำหนดจำนวนแท็บของหม้อแปลง และระดับแรงดันหน้าบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวในระบบไฟฟ้าโดยเฉพาะระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนต่ออยู่ในระบบ อาจมีความซับซ้อนและยากต่อการวิเคราะห์ จึงได้นำโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าควบคุมแต่ละตัวออกมา [19-22]

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในระบบไฟฟ้ากำลังมักเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่มีจำนวนมาก ทำให้อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การฝึกสอนจะใช้เวลาาน และมีความยุ่งยาก ซับซ้อน รวมทั้งจำเป็นต้องมีเครื่องมือวัดค่ามาก ด้วยเหตุนี้การคัดเลือกตัวแปรสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมจึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ ซึ่งการเลือกใช้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าที่ต้องการมากก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมมากขึ้นด้วย แต่ในทางกลับกันถ้าตัวแปรตัวที่ถูกนำมาใช้มีความสัมพันธ์น้อย หรือไม่มี ความสัมพันธ์กันอาจทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมลดลง นอกจากนี้ การใช้ตัวแปรที่มากขึ้นอย่างไม่จำเป็นจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมใช้เวลาในการเรียนรู้มากขึ้น อีกทั้งทำให้เกิดความยุ่งยากและสิ้นเปลืองเครื่องมือต่อการเก็บค่าในการใช้งานจริงด้วย ดังนั้นการคัดเลือกตัวแปรในการนำไปใช้ฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

ด้วยเหตุนี้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) ที่ทำให้ตัวแปรที่มีลักษณะ หรือพฤติกรรมที่คล้ายกันมาอยู่ในกลุ่มเดียวกัน แล้วเลือกตัวแปรในแต่ละกลุ่มออกมาเป็นตัวแทนเพื่อลดจำนวนตัวแปรทั้งหมดที่มีในระบบไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลที่มาจากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากกระบวนการแบบกลุ่มอนุภาค มาใช้เพื่อให้ประสิทธิภาพการคำนวณค่าควบคุมของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าที่ดีที่สุด

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ตัวแปรสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการคำนวณค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสมัยใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. เพื่อลดจำนวนตัวแปรที่มีมากในระบบไฟฟ้าในการนำมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอในการนำมาใช้ฝึกสอนกับโครงข่ายประสาทเทียม
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ กับวิธีเปรียบเทียบอื่น ๆ ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ในการนำมาใช้ฝึกสอนกับโครงข่ายประสาทเทียม
4. เพื่อทดสอบค่าควบคุมแรงดันที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับระบบไฟฟ้า ในเหตุการณ์ต่าง ๆ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการคัดเลือกตัวแปรของวิทยานิพนธ์นี้ ได้กำหนดสมมติฐานไว้ดังต่อไปนี้

1. การปรับแรงดันหน้าบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจำนวนแท่งของหม้อแปลงสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสอื่น ๆ ภายในระบบได้
2. การใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารให้ผลการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมดีขึ้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การใช้ตัวแปรที่มีการรวมความเกี่ยวข้องกับตัวแปรอื่น ๆ เข้าไว้แล้ว (ค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง) จะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทดัดเทียมมีค่าที่ดีกว่าการใช้ตัวแปรแบบปกติ หรือตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรอื่น ๆ แบบอิสระ (ค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่ออยู่ในระบบ)
4. การใช้จำนวนตัวแปรที่มากขึ้นในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทดัดเทียม ไม่จำเป็นที่จะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทดัดเทียมมีค่าดีขึ้นด้วย
5. ค่าควบคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทดัดเทียม สามารถนำไปควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์มีดังต่อไปนี้

1. การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค ในการหาค่าจุดปรับตั้งที่เหมาะสมของแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทำ Load Flow
2. การใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันในการบ่งบอกความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่เก็บค่ามาจากในระบบ
3. การใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ K-mean มาจัดกลุ่มตัวแปรต่าง ๆ ในระบบด้วยของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปร
4. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทดัดเทียมเพื่อคำนวณค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้า

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาที่ใช้ในวิทยานิพนธ์มีดังต่อไปนี้

1. ระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบการจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (Medium Voltage : MV)
2. การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบ จะไม่ทำการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ต่ออยู่ในระบบ
3. ชนิดของโครงข่ายประสาทดัดเทียมที่ใช้ในการทดสอบเป็นโครงข่ายประสาทดัดเทียมแบบป้อนไปหน้า (Feed-forward) ที่มีการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation) เท่านั้น
4. ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทดัดเทียม และผลการทดสอบการควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้มาจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ (Load Flow) โดยการจำลองผ่านโปรแกรม DigSILENT PowerFactory

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณลักษณะของระบบ อุปกรณ์ และค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory
3. สร้างแบบจำลองของระบบที่ศึกษาลงในโปรแกรม DigSILENT PowerFactory
4. ศึกษาขั้นตอน และกระบวนการทำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค

5. เก็บข้อมูลตัวแปรของต่าง ๆ จากในระบบที่ได้จากกระบวนการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค ในโปรแกรม DlgSILENT PowerFactory
6. ศึกษาการใช้โปรแกรม SPSS
7. นำข้อมูลตัวแปรที่ได้ไปคำนวณหาต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม SPSS และ MATLAB เพื่อวิเคราะห์ และแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้
8. ศึกษาการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมผ่านโปรแกรม MATLAB
9. นำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียม
10. วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม
11. นำผลการคำนวณค่าควบคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมไปทดสอบกับระบบไฟฟ้าผ่านโปรแกรม DlgSILENT PowerFactory
12. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบที่ได้
13. สรุปผลที่ได้จากการทำการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้รับการรวบรวมและสรุปไว้ในหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค

ในปี ค.ศ. 1995 Kennedy และ Eberhart ได้ริเริ่มเทคนิคการคำนวณที่มีวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation Technique) แบบใหม่ที่มีชื่อเรียกว่า การหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) [23-30] เพื่อใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรต่อเนื่อง

2.1.1 แนวคิดของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค

วิธีกลุ่มอนุภาคมีวิธีการเลียนแบบการเคลื่อนที่ของฝูงนกหรือฝูงปลา ซึ่งนกหรือปลาแต่ละตัวในฝูงจะสื่อสารถึงกันเพื่อทำให้การเคลื่อนที่ของฝูงมุ่งไปยังทิศทางที่ต้องการหรือในตำแหน่งที่มีอาหาร สมมุติให้แต่ละอนุภาค (Particle) คือ นกหรือปลาแต่ละตัวในฝูง การเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคคือการเคลื่อนที่ในพื้นที่การค้นหาของปัญหาที่กำลังพิจารณา อนุภาคแต่ละตัวพยายามปรับปรุงตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลจากประสบการณ์ของตัวเองและข้อมูลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนกับอนุภาคตัวอื่น ๆ เพื่อให้กลุ่มอนุภาคเคลื่อนที่มุ่งไปสู่ตำแหน่งของผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดในพื้นที่การค้นหา วิธีกลุ่มอนุภาคได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน และถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์อย่างแพร่หลาย วิธีกลุ่มอนุภาคมีข้อดี คือ วิธีการคำนวณไม่ยุ่งยาก ขั้นตอนวิธีมีความความยืดหยุ่น รวดเร็ว และมีเสถียรภาพในการลู่เข้าสู่คำตอบ

2.1.2 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีแบบกลุ่มอนุภาค

วิธีแบบกลุ่มอนุภาคเริ่มจากการกำหนดตำแหน่ง (Position) ที่ถูกใช้เป็นค่าวิงหาคำตอบของปัญหาที่กำลังพิจารณา มีขนาดมิติเท่ากับจำนวนคำตอบที่ต้องการหาทั้งหมด D มิติ (D -dimensional Search Space) ทั้งหมด n อนุภาค มีค่าอยู่ในขอบเขตของคำตอบการค้นหา โดยอนุภาคแต่ละตัวมีความเร็ว (Velocity) ที่ใช้ในการปรับปรุงตำแหน่งของตัวเองให้เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่าง ๆ ในรอบต่อไป เมื่อ \mathbf{x}^m และ \mathbf{v}^m แทนค่าตำแหน่ง และความเร็วในรอบที่ m ตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนแสดงได้ดังนี้

$$\mathbf{X}^m = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^m \\ \mathbf{x}_2^m \\ \vdots \\ \mathbf{x}_i^m \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11}^m & x_{12}^m & \cdots & x_{1d}^m & \cdots & x_{1D}^m \\ x_{21}^m & x_{22}^m & \cdots & x_{2d}^m & \cdots & x_{2D}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \cdots & \cdots & \vdots \\ x_{i1}^m & x_{i2}^m & \cdots & x_{id}^m & \cdots & x_{iD}^m \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^m & x_{n2}^m & \cdots & x_{nd}^m & \cdots & x_{nD}^m \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{V}^m = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1^m \\ \mathbf{v}_2^m \\ \vdots \\ \mathbf{v}_i^m \\ \vdots \\ \mathbf{v}_n^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11}^m & v_{12}^m & \cdots & v_{1d}^m & \cdots & v_{1D}^m \\ v_{21}^m & v_{22}^m & \cdots & v_{2d}^m & \cdots & v_{2D}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \cdots & \cdots & \vdots \\ v_{i1}^m & v_{i2}^m & \cdots & v_{id}^m & \cdots & v_{iD}^m \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1}^m & v_{n2}^m & \cdots & v_{nd}^m & \cdots & v_{nD}^m \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

โดยที่ x_{id}^m คือ ค่าของตำแหน่งของอนุภาคตัวที่ i รอบของการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาครอบที่ m และในมิติของคำตอบที่ d

v_{id}^m คือ ค่าความเร็วของอนุภาคตัวที่ i รอบของการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาครอบที่ m และในมิติของคำตอบที่ d

n คือ จำนวนตัวของอนุภาคในกลุ่มทั้งหมด

D คือ จำนวนคำตอบ หรือจำนวนมิติของอนุภาค

เพื่อการเลียนแบบการติดต่อสื่อสารตอบโต้ระหว่างอนุภาค จึงได้กำหนดตัวแปร \mathbf{P}_{best}^m (Personal Best Position) เป็นค่าที่ประกอบไปด้วยค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของในแต่ละอนุภาคเมื่อดำเนินกระบวนการมาถึงรอบที่ m โดยตำแหน่งที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) ที่ได้กำหนดขึ้นมาในแต่ละเงื่อนไขของปัญหาในกระบวนการตรวจสอบค่าคำตอบของอนุภาคทุกมิติ ซึ่งค่า \mathbf{P}_{best}^m สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\mathbf{P}_{best}^m = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1^m \\ \mathbf{p}_2^m \\ \vdots \\ \mathbf{p}_i^m \\ \vdots \\ \mathbf{p}_n^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11}^m & p_{12}^m & \cdots & p_{1d}^m & \cdots & p_{1D}^m \\ p_{21}^m & p_{22}^m & \cdots & p_{2d}^m & \cdots & p_{2D}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \cdots & \cdots & \vdots \\ p_{i1}^m & p_{i2}^m & \cdots & p_{id}^m & \cdots & p_{iD}^m \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1}^m & p_{n2}^m & \cdots & p_{nd}^m & \cdots & p_{nD}^m \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

โดยที่ p_{id}^m คือ ค่าของตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคตัวที่ i ในรอบของการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคทั้งหมด m รอบ และในมิติของคำตอบที่ d

ตัวแปร \mathbf{G}_{best}^m (Global Best Position) เป็นค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุกอนุภาคทั้งหมดเพียงตัวเดียวที่กระบวนการดำเนินมาถึงรอบที่ m โดยจะพิจารณาจากค่า \mathbf{P}_{best}^m ที่ดีที่สุด ซึ่งค่า \mathbf{G}_{best}^m ในรอบที่ m สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\mathbf{G}_{best}^m = \mathbf{g}^m = [g_1^m \quad g_2^m \quad \cdots \quad g_d^m \quad \cdots \quad g_D^m] \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ g_d^m คือ ค่าของตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ในรอบของการเคลื่อนที่ของ
กลุ่มอนุภาคทั้งหมด m รอบ และในมิติของคำตอบที่ d

ในแต่ละรอบอนุภาคจะทำการปรับปรุงความเร็ว (\mathbf{V}) เพื่อใช้ในการปรับตำแหน่งของ
อนุภาคจากการคำนวณรอบปัจจุบันที่ m ไปยังการคำนวณรอบต่อไปที่ $m + 1$ มีรายละเอียดเป็นไป
ตามสมการพื้นฐานของวิธีแบบกลุ่มอนุภาคที่ใช้ถ่วงน้ำหนักความเฉื่อย ดังนี้

$$\mathbf{v}_i^{m+1} = w^m \cdot \mathbf{v}_i^m + c_1 \mathbf{r}_1^m (\mathbf{p}_i^m - \mathbf{x}_i^m) + c_2 \mathbf{r}_2^m (\mathbf{g}^m - \mathbf{x}_i^m) \quad (2.5)$$

โดยที่ c คือ สัมประสิทธิ์ความเร่ง (Acceleration Coefficient) หรือค่าคงตัว
ความเร่ง (Acceleration Constant) โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ
2.0
 r คือ ตัวเลขสุ่มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ใช้สำหรับสร้างกระบวนการเฟ้นสุ่มใน
ขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาค
 g คือ ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ที่ถูกเพิ่มขนาดปรากฏให้มีจำนวน
แถวเท่ากับ n เพื่อใช้ในการคำนวณ

จาก (2.5) จะเห็นได้ว่าความเร็วของอนุภาคประกอบด้วยผลรวมของส่วนประกอบ 3 ส่วน
คือ พจน์แรก $w^m \cdot \mathbf{v}_{id}^m$ หมายถึง ส่วนประกอบเชิงความเฉื่อย (Inertia Component) ซึ่งมาจากค่า
ความเร็วครั้งก่อนหน้า ส่วนประกอบนี้พยายามควบคุมให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดิม เพื่อ
ป้องกันไม่ให้อนุภาคเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่มากเกินไป พจน์ที่สอง $c_1 \mathbf{r}_1^m (\mathbf{p}_{id}^m - \mathbf{x}_{id}^m)$ คือ
ส่วนประกอบเชิงปัญญานิยม (Cognitive Component) ซึ่งแต่ละอนุภาคได้จดจำตำแหน่งที่ดีที่สุดของ
ตัวเองเอาไว้ ส่วนประกอบนี้เป็นประสบการณ์การค้นหาผลเฉลยของแต่ละอนุภาคซึ่งควบคุมให้
อนุภาคแต่ละตัวยังคงเคลื่อนที่ในทิศทางของตำแหน่งที่ดีที่สุดของตนเอง และพจน์สุดท้าย
 $c_2 \mathbf{r}_2^m (\mathbf{g}^m - \mathbf{x}_{id}^m)$ คือ ส่วนประกอบทางสังคม (Social Component) ซึ่งแต่ละอนุภาคได้จดจำ
ตำแหน่งที่ดีที่สุดในกลุ่มอนุภาคนั้นว่าอยู่ที่ตำแหน่งใด ส่วนประกอบนี้จะทำให้อนุภาคแต่ละตัวปรับ
การเคลื่อนที่ของตัวเองให้มีทิศทางเดียวกับอนุภาคซึ่งมีตำแหน่งที่ดีที่สุด

ค่าของ w^m คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของส่วนประกอบเชิงความเฉื่อยที่มีความสำคัญต่อพฤติกรรม
การลู่เข้าสู่ผลเฉลยในการสำรวจแบบกว้างและการเสาะแสวงแบบละเอียดของวิธีกลุ่มอนุภาค
กล่าวคือในการคำนวณช่วงแรก w^m จะมีค่าสูง เพื่อให้กลุ่มอนุภาคกระจายตัวค้นหาผลเฉลยใน
หลาย ๆ พื้นที่การค้นหา จนกระทั่งพบพื้นที่ที่เหมาะสม และเมื่อถึงการคำนวณในช่วงท้าย w^m จะมี
ค่าลดลง เพื่อให้กลุ่มอนุภาคค้นหาผลเฉลยในพื้นที่ที่เหมาะสมได้อย่างละเอียด ตามปกติ w^m จะถูก
ปรับให้มีค่าลดลงแบบแบบเชิงเส้น (Linear Decreasing) ตามรอบการคำนวณที่เพิ่มขึ้นตาม

$$w^m = (w^0 - w^M) \frac{(M - m)}{M} + w^M \quad (2.6)$$

หรือ

$$w^m = w^0 - \frac{(w^0 - w^M)m}{M} \quad (2.7)$$

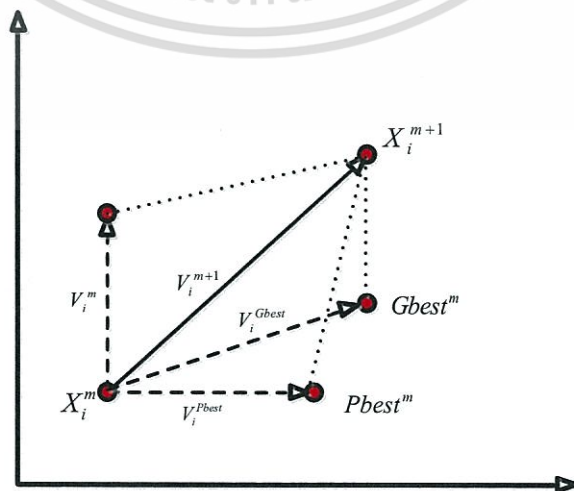
- โดยที่ w^0 คือ ค่าเริ่มต้นในการคำนวณรอบแรก (ปกติมีค่าเท่ากับ 0.9)
 w^M คือ ค่าในการคำนวณรอบสุดท้าย (ปกติมีค่าเท่ากับ 0.4)
 M คือ จำนวนรอบสูงสุดที่ได้กำหนดไว้ของการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

หลังจากที่ได้ปรับปรุงค่าความเร็วใหม่แล้ว อนุภาคจะถูกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ในรอบต่อไป ได้ดังนี้

$$X_{id}^{m+1} = X_{id}^m + V_{id}^{m+1} \quad (2.8)$$

การจำลองปรับปรุงตำแหน่งการเคลื่อนที่ เพื่อเข้าหาคำตอบในรอบต่อไปของอนุภาคสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.1

ขั้นตอนการหาความเร็วของอนุภาคและการปรับตำแหน่งของอนุภาคจะดำเนินการวนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเงื่อนไขยุติการคำนวณ (Stopping Conditions) เป็นจริง จึงเป็นอันสิ้นสุดขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาค และค่า G_{best} ของการคำนวณรอบสุดท้าย คือ ผลเฉลยเหมาะสมที่สุด ซึ่งตัวอย่างเงื่อนไขยุติการคำนวณ ได้แก่ จำนวนรอบการคำนวณสูงสุดที่กำหนดไว้ M รอบ จำนวนรอบการคำนวณซึ่งค่าของผลเฉลยไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือการที่ผลเฉลยมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เป็นต้น ทั้งนี้ควรเลือกเงื่อนไขยุติการคำนวณให้เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ผลเฉลยเกิดการลู่เข้าก่อนกำหนด (Premature Convergence) โดยทั่วไป เงื่อนไขยุติการคำนวณที่นิยมใช้ คือ การกำหนดจำนวนรอบสูงสุดของการคำนวณ M รอบ



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่เข้าหาคำตอบของอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สหสัมพันธ์

สหสัมพันธ์ (Correlation) [31] เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไปจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($-1 \leq r \leq 1$) เพื่อบ่งบอกขนาดและทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งในทางสถิติการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีอยู่หลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบของข้อมูล โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่ถูกนำมาประยุกต์กับในงานวิจัยนี้เท่านั้น

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) [32] ใช้สัญลักษณ์ r_{xy} เป็นวิธีที่ใช้หาความสัมพันธ์ของตัวแปรในมาตราอันดับหรืออัตราส่วน (Interval or Ratio scale) และจะต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสามารถคำนวณได้จาก

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (2.9)$$

โดยที่ r_{xy} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน
 X คือ ข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (อินพุต)
 Y คือ ข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (เอาต์พุต)
 n คือ จำนวนข้อมูลของเหตุการณ์ต่าง ๆ

2.3 การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster Analysis

Cluster Analysis [33-35] เป็นเทคนิคที่จัด หรือแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดยที่ข้อมูลในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายกัน และมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ส่วนข้อมูลที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน และมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่ มีความสัมพันธ์กันเลย ในการวิเคราะห์กลุ่มคลัสเตอร์ที่นิยมใช้กันมี 2 เทคนิค ได้แก่ 1. การวิเคราะห์กลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical Clustering) และ 2. การวิเคราะห์กลุ่มแบบ K-mean Clustering ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวเฉพาะวิธีที่ใช้ในงานวิจัย คือ การวิเคราะห์กลุ่มแบบ K-mean Clustering เท่านั้น

2.3.1 K-mean Clustering

เป็นวิธีการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มตัวแปรที่รู้จักกันทั่วไปที่สามารถระบุจำนวนกลุ่มที่ต้องการได้ เมื่อมีจำนวนตัวแปรมาก จึงเหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่มีจำนวนตัวแปรที่มากเช่นกัน

2.3.2 ชนิดของตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-mean Clustering

ตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-mean Clustering จะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ คือเป็นสเกลอันตรภาค (Interval Scale) หรือสเกลอัตราส่วน (Ration Scale) โดยไม่สามารถใช้กับข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่ หรือลักษณะของเลขฐานสอง เหมือนเทคนิค Hierarchical ได้

2.3.3 ขั้นตอนในการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี K-mean Clustering

ขั้นตอนในการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-mean Clustering สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่ม หรือจำนวนคลัสเตอร์ที่ต้องการ คือกำหนดให้มี k กลุ่ม
2. กำหนดตำแหน่งเริ่มต้น โดยสุ่มกลุ่มข้อมูลเพื่อใช้เป็นค่ากลาง (Centroid) เริ่มต้นของกลุ่ม สุ่มมาจำนวนเท่ากับค่ากลุ่มที่ต้องการ k กลุ่ม
3. ทำกระบวนการจัดกลุ่ม ด้วยการคำนวณระยะห่างของแต่ละตัวแปรกับแต่ละค่ากลาง และจัดตัวแปรให้ไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยเลือกกลุ่มที่ตัวแปรนั้น ๆ มีระยะห่างจากค่ากลางของกลุ่มน้อยที่สุด
4. คำนวณค่ากลางของแต่ละกลุ่มใหม่ โดยหาจากค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม
5. กลับไปทำในข้อ 3 ใหม่ จนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง หรือครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้

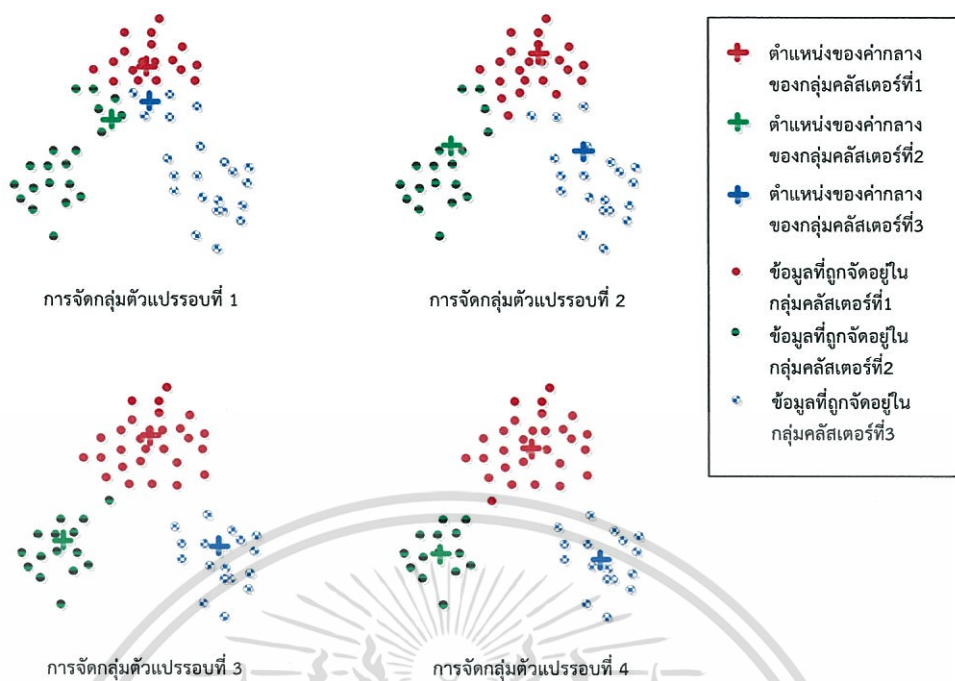
การหาค่าระยะห่างที่นิยมใช้กับวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-mean จะหาได้จากการคำนวณ Euclidean distance สามารถแสดงได้ดังนี้

$$D_e = \sqrt{\sum_{j=1}^d (a_j - b_j)^2} \quad (2.10)$$

โดยที่ D_e คือ ระยะห่างตามวิธีของ Euclidean
 a คือ ตำแหน่งค่าของตัวแปรที่นำมาจัดกลุ่ม
 b คือ ตำแหน่งค่ากลางของกลุ่มคลัสเตอร์
 d คือ จำนวนมิติ หรือจำนวนคุณลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ลักษณะตัวอย่างของการจัดกลุ่มคลัสเตอร์ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-mean ที่ทำการเปรียบเทียบค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งของข้อมูลแต่ละตัวกับค่ากลางในแต่ละรอบ จนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.2

จากนั้นจะเป็นการคัดเลือกตัวแทนของแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้เกณฑ์การคัดเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รวมมากที่สุดในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์ออกมาเพียงตัวแปรเดียว



รูปที่ 2.2 ลักษณะการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ในแต่ละรอบ

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม

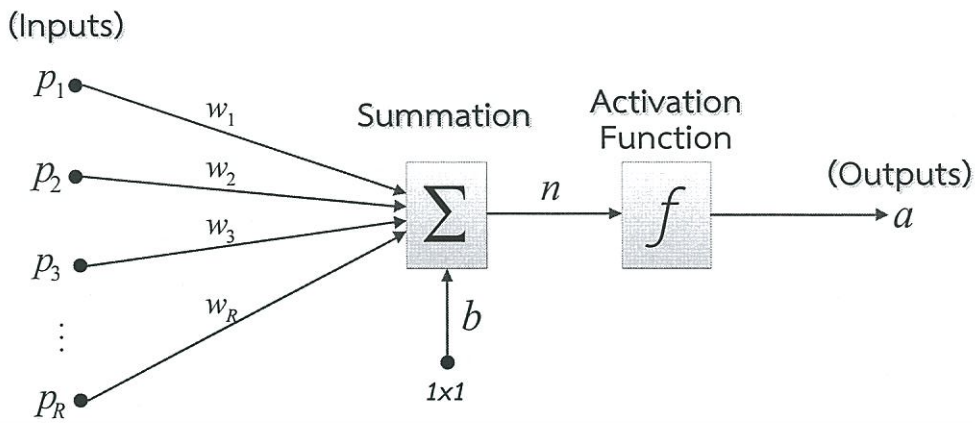
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN) [36-37] เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบการทำงานของโครงสร้างสมองของมนุษย์ ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อและส่งข้อมูลระหว่างกัน ทำให้เกิดความสามารถในการจดจำ และการอุปมาความรู้อื่น โดยก่อนการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานต้องการฝึกสอนโครงข่ายให้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้โครงข่ายสามารถรู้จำข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

โครงข่ายประสาทเทียมในปัจจุบันมีหลายชนิดและทำได้หลายวิธี แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวในรายละเอียดเฉพาะในส่วนเนื้อหาของชนิดและวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัย คือโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Neural Network) ชนิดป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (Multi-Layer Feed Forward) เท่านั้น เนื่องจากเป็นชนิดที่มีความเหมาะสมกับการพยากรณ์ (Forecasting) และการประมาณค่าฟังก์ชัน (Function Approximation) และเป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลังอย่างแพร่หลาย [19,20,22]

2.4.1 แบบจำลองเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาท (Neuron) เป็นหน่วยประมวลผลข้อมูลพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม โดยแบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียมแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ประสาทประกอบด้วย ข้อมูลอินพุต ค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง ค่าเบี่ยงเบน ฟังก์ชันผลรวม ฟังก์ชันถ่ายโอน และข้อมูลเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมแบบหลายอินพุต

ข้อมูลอินพุต หรือข้อมูลเข้า (Input) สัญลักษณ์ p เซลล์ประสาทจะสามารถรับกลุ่มข้อมูลเข้าที่เป็นตัวเลข หากข้อมูลเป็นรูปภาพหรือเสียงจะต้องทำการแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปตัวเลขเสียก่อน

ค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง (Weight) สัญลักษณ์ w เป็นค่าที่ได้จากการเรียนรู้ของเซลล์ประสาท ในขณะที่สถานะสุดท้ายของค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยงจะบอกถึงข้อมูลหรือประสบการณ์ที่ได้ผ่านการเรียนรู้มาแล้ว

ค่าเบี่ยงเบน (Bias) สัญลักษณ์ b เป็นค่าที่ได้จากการเรียนรู้ของเซลล์ประสาท ในขณะที่สถานะสุดท้ายของค่าเบี่ยงเบนจะบอกถึงข้อมูลหรือประสบการณ์ที่ได้ผ่านการเรียนรู้มาแล้ว

ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) สัญลักษณ์ n เป็นค่าผลรวมที่ได้จากข้อมูลเข้าทุกตัวคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง หากมีค่าเบี่ยงเบนก็จะถูกรวมที่ในฟังก์ชันนี้ด้วย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$n = \sum_{i=1}^R (w_i \cdot p_i) + b \quad (2.11)$$

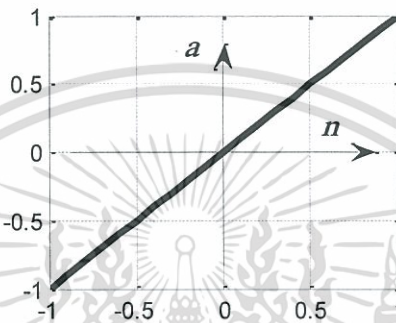
| | | |
|--------|-------|--|
| โดยที่ | p_i | คือ ค่าอินพุตของเซลล์ประสาทตัวที่ i |
| | w_i | คือ ค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยงของค่าอินพุตที่เข้าเซลล์ประสาทตัวที่ i |
| | b | คือ ค่าเบี่ยงเบนของเซลล์ประสาท |
| | R | คือ จำนวนค่าอินพุตที่เข้ามาในเซลล์ประสาท |

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) หรือฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) สัญลักษณ์ f อาจจะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function) หรือฟังก์ชันไม่เชิงเส้น (Non-linear Function) การเลือกฟังก์ชันการกระตุ้นภายในเซลล์ประสาทขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่จะเลือกนำมาใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าและข้อมูลออก โดยที่ตัวอย่างฟังก์ชันการกระตุ้นแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟังก์ชันการกระตุ้นเชิงเส้น (Linear Activation Function) ค่าเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าที่ออกมาจากฟังก์ชันการกระตุ้นเสมอเหมาะสำหรับเอาต์พุตที่ไม่มีการกำหนดขอบเขต โดยกราฟมีลักษณะดังในรูปที่ 2.4 และค่าเอาต์พุตที่ได้สามารถเขียนได้ดังนี้

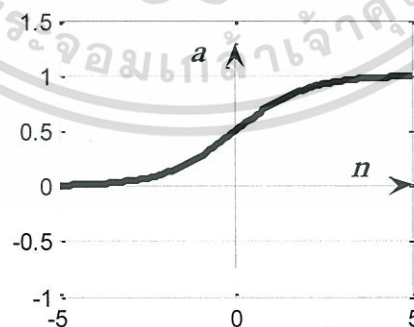
$$a = \begin{cases} -n & \text{if } n < 0 \\ 0 & \text{if } n = 0 \\ n & \text{if } n > 0 \end{cases} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันการกระตุ้นเชิงเส้น

- ฟังก์ชันการกระตุ้นลอกซิกมอยด์ (Log Sigmoid Activation Function) ค่าเอาต์พุตที่ได้จากฟังก์ชันนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ไม่ว่าค่าอินพุตที่เข้าฟังก์ชันจะมีค่าเท่าไรก็ตาม โดยกราฟมีลักษณะดังในรูปที่ 2.5 และค่าเอาต์พุตที่ได้สามารถเขียนได้ดังนี้

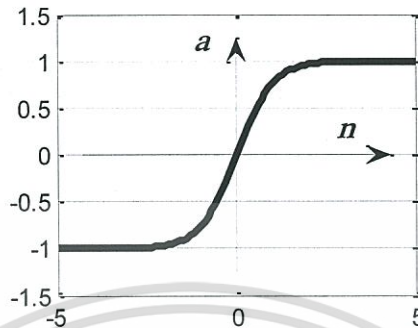
$$a = \frac{1}{1 + \exp(-n)} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันการกระตุ้นลอกซิกมอยด์

- ฟังก์ชันการกระตุ้นไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ซิกมอยด์ (Hyperbolic Tangent Sigmoid Activation Function) ค่าเอาต์พุตที่ได้จากฟังก์ชันจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ไม่ว่าค่าอินพุตที่เข้าฟังก์ชันจะมีค่าเท่าไรก็ตาม โดยกราฟมีลักษณะดังในรูปที่ 2.6 และค่าเอาต์พุตที่ได้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$a = \frac{1 - \exp^{(-n)}}{1 + \exp^{(-n)}} \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันการกระตุ้นแทนเงินที่ซิกมอยด์

ค่าข้อมูลเอาต์พุต หรือข้อมูลออก (Output) สัญลักษณ์ a เป็นค่าผลลัพธ์ที่ได้จากหน่วยประมวลผลข้อมูลพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม สามารถแสดงได้ดังนี้

$$a = f(n) \quad (2.15)$$

$$a = f\left(\sum_{i=1}^R (w_i \cdot p_i) + b\right) \quad (2.16)$$

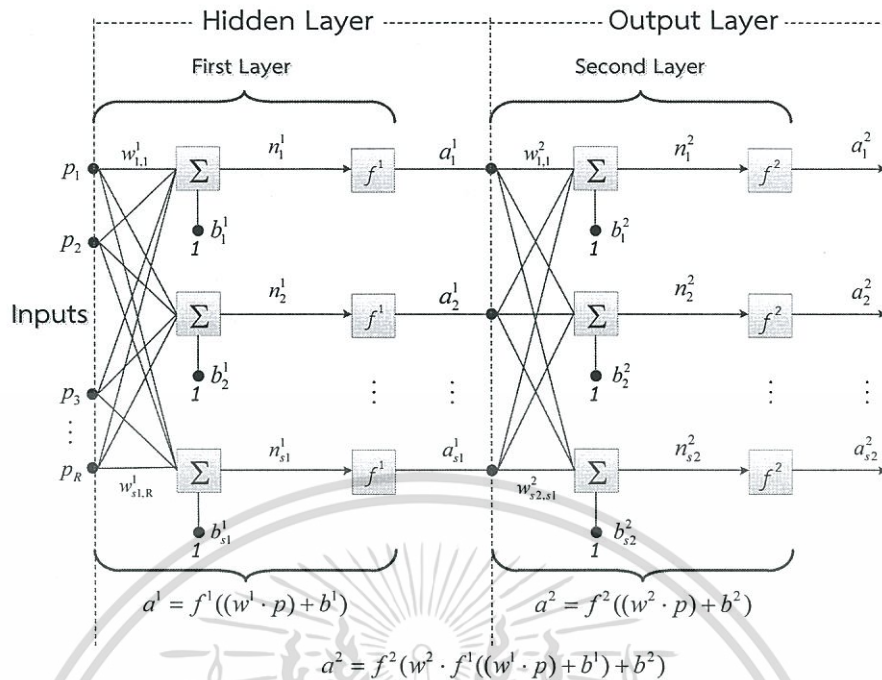
$$a = f((w_1 \cdot p_1) + (w_2 \cdot p_2) + (w_3 \cdot p_3) + \dots + (w_R \cdot p_R) + b) \quad (2.17)$$

โดยที่ f คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน หรือฟังก์ชันการกระตุ้น

2.4.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Architecture) เกิดขึ้นจากการนำเซลล์ประสาทหลาย ๆ เซลล์มาต่อกันจนเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (Multilayer Feed Forward Network)

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้เป็นการต่อโครงข่ายประสาทเทียมแบบแต่ละชั้นแบบถึงกันหมด ทำให้ข้อมูลเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ข้อมูลที่ออกจากเซลล์ประสาทที่หนึ่งจะถูกส่งไปเป็นข้อมูลเข้าของเซลล์ประสาทชั้นถัดไป ซึ่งข้อมูลที่ออกมาจากเซลล์ประสาทที่อยู่ในชั้นก่อนนี้ จะเรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นสุดท้ายของโครงข่ายประสาทเทียมนี้จะเรียกว่า ชั้นเอาต์พุต (Output Layer)



รูปที่ 2.7 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นที่มีจำนวน 1 ชั้นซ่อน

รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยจำนวนทั้งสิ้น 2 ชั้น โดยชั้นแรกเรียกว่า ชั้นซ่อน และชั้นที่สองเรียกว่า ชั้นเอาต์พุต ซึ่งในแต่ละชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถมีจำนวนของเซลล์ประสาทที่แตกต่างกันได้

หลักการของโครงข่ายประสาทเทียมนี้เริ่มจากอินพุตจำนวน R ตัว ถูกส่งผ่านค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง w^1 ไปรวมกับค่าเบี่ยงเบนของแต่ละเซลล์ประสาท b^1 ผ่านฟังก์ชันการกระตุ้น f^1 จะได้ค่าเอาต์พุตออกของชั้นที่หนึ่ง เพื่อเป็นค่าอินพุตของชั้นที่สอง และค่าอินพุตของชั้นที่ 2 นี้ก็จะถูกส่งผ่านค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง w^2 ไปรวมกับค่าเบี่ยงเบนของแต่ละเซลล์ประสาท b^2 ผ่านฟังก์ชันการกระตุ้น f^2 จึงจะได้ค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมนี้

ดังนั้นค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง และค่าเบี่ยงเบนของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นค่าที่มีความสำคัญในการหาค่าเอาต์พุตอย่างมาก ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน และขั้นตอนในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ที่จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการปรับค่าเป็นไปได้อย่างที่เหมาะสม โดยรายละเอียดของกระบวนการเตรียมข้อมูล และกระบวนการเรียนรู้จะกล่าวในหัวข้อถัดไป ตามลำดับ

2.4.3 กระบวนการเตรียมข้อมูลก่อนทำการประมวลผล

กระบวนการเตรียมข้อมูลก่อนทำการประมวลผล (Data Pre-Processing) ประกอบด้วย การปรับปรุงโครงสร้างของข้อมูล (Normalization) และการจำกัดขอบเขต (Bounding) ให้กับชุดข้อมูลฝึกสอน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม อีกทั้งยังช่วยให้ลดเวลาที่ใช้ฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมได้อีกด้วย [22]

การ Normalization จะทำให้ชุดข้อมูลด้านเข้า และด้านออก ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลกระจายอยู่บนพื้นฐานเดียวกันหรือหน่วยเดียวกันของการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution curve) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($\mu = 0$) และความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง ($\sigma = 1$) สำหรับจำนวนชุดข้อมูล อินพุตและเอาต์พุตทั้งหมด ถ้าแต่ละชุดข้อมูลด้านเข้าหรือด้านออกประกอบด้วยข้อมูล “ n ” ชุดข้อมูล (X_1, X_2, \dots, X_n) จะสามารถทำกระบวนการ Normalization ได้ตาม (2.18) ถึง (2.21)

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}, \mu_X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.18)$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 - \mu_X \\ X_2 - \mu_X \\ \vdots \\ X_n - \mu_X \end{bmatrix}, \mu_Y = 0 \quad (2.19)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i)^2}{n}} \quad (2.20)$$

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} = \mathbf{Y} \frac{1}{\sigma_Y} = \begin{bmatrix} \frac{X_1 - \mu_X}{\sigma_Y} \\ \frac{X_2 - \mu_X}{\sigma_Y} \\ \vdots \\ \frac{X_n - \mu_X}{\sigma_Y} \end{bmatrix}, \sigma_Z = 1 \text{ and } \mu_Z = 0 \quad (2.21)$$

หลังจากนั้นจะทำการจำกัดขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ในช่วงของฟังก์ชันถ่ายโอน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมให้ดียิ่งขึ้น โดยค่าขอบเขตของข้อมูล สามารถหาได้จาก (2.22) ถึง (2.25)

$$u = \text{ค่าสูงสุดของเมตริกซ์ } \mathbf{Z} \quad (2.22)$$

$$l = \text{ค่าต่ำสุดของเมตริกซ์ } \mathbf{Z} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g = \frac{b - a}{u - l} \tag{2.24}$$

$$h = b - (m \times u) \tag{2.25}$$

ค่าเอาต์พุตหลังจากที่ได้ทำการจำกัดขอบเขตแล้วจะได้ดังนี้

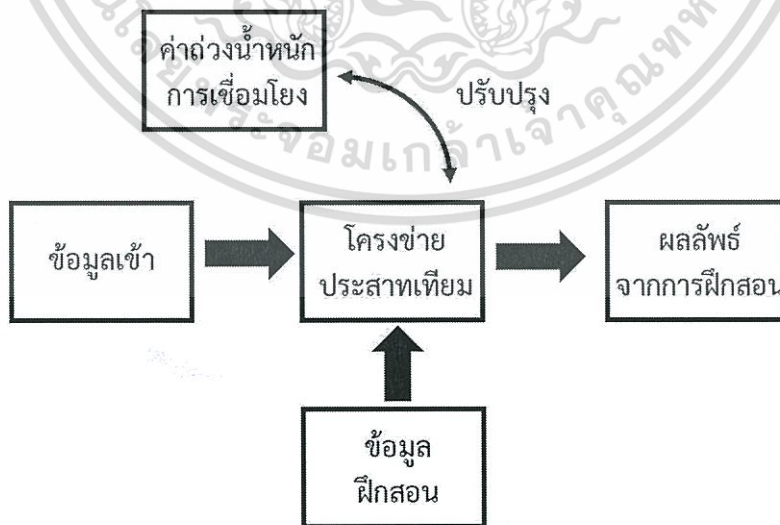
$$\text{เอาต์พุต} = g \cdot Z_i + h \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{2.26}$$

โดยที่ a และ b คือ ช่วงของขอบเขตที่เรากำหนด

2.4.4 กระบวนการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าโครงข่ายประสาทเทียมจะเก็บข้อมูลความรู้ที่เกี่ยวข้อง จะต้องอาศัยกระบวนการการเรียนรู้หรือการฝึกสอน โดยกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เลือกนำมาใช้ เนื่องจากเป็นการเรียนรู้ที่มีการตรวจคำตอบที่ได้ว่ามีความถูกต้องหรือไม่ เหมาะกับการนำมาใช้งานกับโครงข่ายประสาทเทียมในด้านการพยากรณ์ และงานด้านการประมาณค่า เป็นต้น

การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน เสมือนว่ามีผู้ฝึกสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้ากับผลลัพธ์ โดยแก้ไขข้อผิดพลาดจากการหาผลต่างระหว่างคำตอบสนองที่ต้องการซึ่งได้มาจากผู้ฝึกสอนกับการตอบสนองที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม มาปรับปรุงข้อผิดพลาดจากการพยากรณ์



รูปที่ 2.8 แผนภาพการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 ประกอบไปด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ชุดข้อมูลเข้า และผู้ฝึกสอน เมื่อชุดข้อมูลเข้าโครงข่ายประสาทเทียมจะได้ผลลัพธ์จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม หลังจากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผู้ฝึกสอน จะทำให้ได้ค่าความผิดพลาด แล้วนำค่าความผิดพลาดนี้ไปใช้ปรับค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยงภายในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้ในรอบต่อไปมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลฝึกสอนจนอยู่ในขอบเขตที่ผู้กำหนดพอใจ หรือครบตามจำนวนรอบที่ได้กำหนดเอาไว้ โดยกระบวนการเรียนรู้ที่นิยมใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า คือ การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation Algorithm)

2.4.5 การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ

การเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้ากับค่าผลลัพธ์สามารถทำได้โดยการปรับค่าปรับค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง กับค่าเบี่ยงเบน ซึ่งการปรับค่าด้วยวิธี Levenberg-Marquardt Algorithm [38] เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการแก้ไขปัญหาค่าประมาณค่า และมีประสิทธิภาพในการปรับค่าที่รวดเร็ว

ขั้นตอนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับด้วยวิธี Levenberg-Marquardt Algorithm จะเริ่มหลังจากที่ข้อมูลได้ถูกคำนวณผ่านชั้นต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมจนทำให้ได้ค่าเอาต์พุตแล้ว ค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย เพื่อคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error, e) ดังนี้

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{s_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1^2 - a_1^2 \\ t_2^2 - a_2^2 \\ \vdots \\ t_{s_2}^2 - a_{s_2}^2 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

| | | |
|--------|-------|---|
| โดยที่ | e | คือ ค่าความคลาดเคลื่อน |
| | t^2 | คือ ค่าเป้าหมายของชั้นเอาต์พุต |
| | a^2 | คือ ค่าที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทในชั้นเอาต์พุต |
| | s_2 | คือ จำนวนเซลล์ประสาทสูงสุดในชั้นเอาต์พุต |

จากนั้นจะทำการหาค่าจาโคเบียนเมตริกซ์ของอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาดเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง และจาโคเบียนเมตริกซ์ของอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาดเทียบกับค่าของค่าเบี่ยงเบน ดัง (2.28) และ (2.29) ตามลำดับ

$$J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,s1}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,s1}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_{s2}}{\partial w_{s2,1}} & \frac{\partial e_{s2}}{\partial w_{s2,2}} & \dots & \frac{\partial e_{s2}}{\partial w_{s2,s1}} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

$$J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{s2}}{\partial b_{s2}} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

สุดท้ายเป็นการปรับปรุงค่าน้ำหนักการเชื่อมโยง และค่าเบี่ยงเบนให้มีความเหมาะสมขึ้นจากค่าเดิมตาม (2.31) และ (2.33) ตามลำดับ

$$w_{new} = w_{old} + \Delta w \quad (2.30)$$

$$\Delta w = \left[J^T(w) \cdot J(w) + \mu \cdot I \right]^{-1} J^T(w) \cdot e \quad (2.31)$$

$$b_{new} = b_{old} + \Delta b \quad (2.32)$$

$$\Delta b = \left[J^T(b) \cdot J(b) + \mu \cdot I \right]^{-1} J^T(b) \cdot e \quad (2.33)$$

โดยที่ I คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix)
 μ คือ ค่าคงที่โดยตอนเริ่มต้นจะถูกกำหนดไว้ที่ค่าต่ำ ๆ ที่ 0.001

โดยที่หลักการคำนวณปริมาณการปรับแต่งค่าน้ำหนักในเซลล์ประสาทเทียมของชั้นซ่อนต่าง ๆ ก็ใช้หลักการเดียวกันกับชั้นเอาต์พุต คือ ดูจากผลรวมความคลาดเคลื่อนที่ไหลย้อนกลับมายังเซลล์ประสาทเทียมตัวนั้น ๆ เทียบกับค่าของสัญญาณที่วิ่งผ่านเข้ามาทางนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 กระบวนการแปลงข้อมูลกลับหลังทำการประมวลผล

กระบวนการแปลงข้อมูลกลับหลังทำการประมวลผล (Data Post-Processing) เป็นการทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมในรอบนั้น ๆ แปลงค่ากลับมาฐานปกติ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าความผิดพลาดเทียบกับค่าเป้าหมาย แล้วจึงนำไปเป็นเงื่อนไขในการเก็บค่าถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยง กับค่าเบี่ยงเบนในรอบที่ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด โดยที่กระบวนการนี้จะทำการทำกลับของกระบวนการจำกัดขอบเขต และกระบวนการทำข้อมูลอยู่ในรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสามารถได้ตามลำดับดังนี้

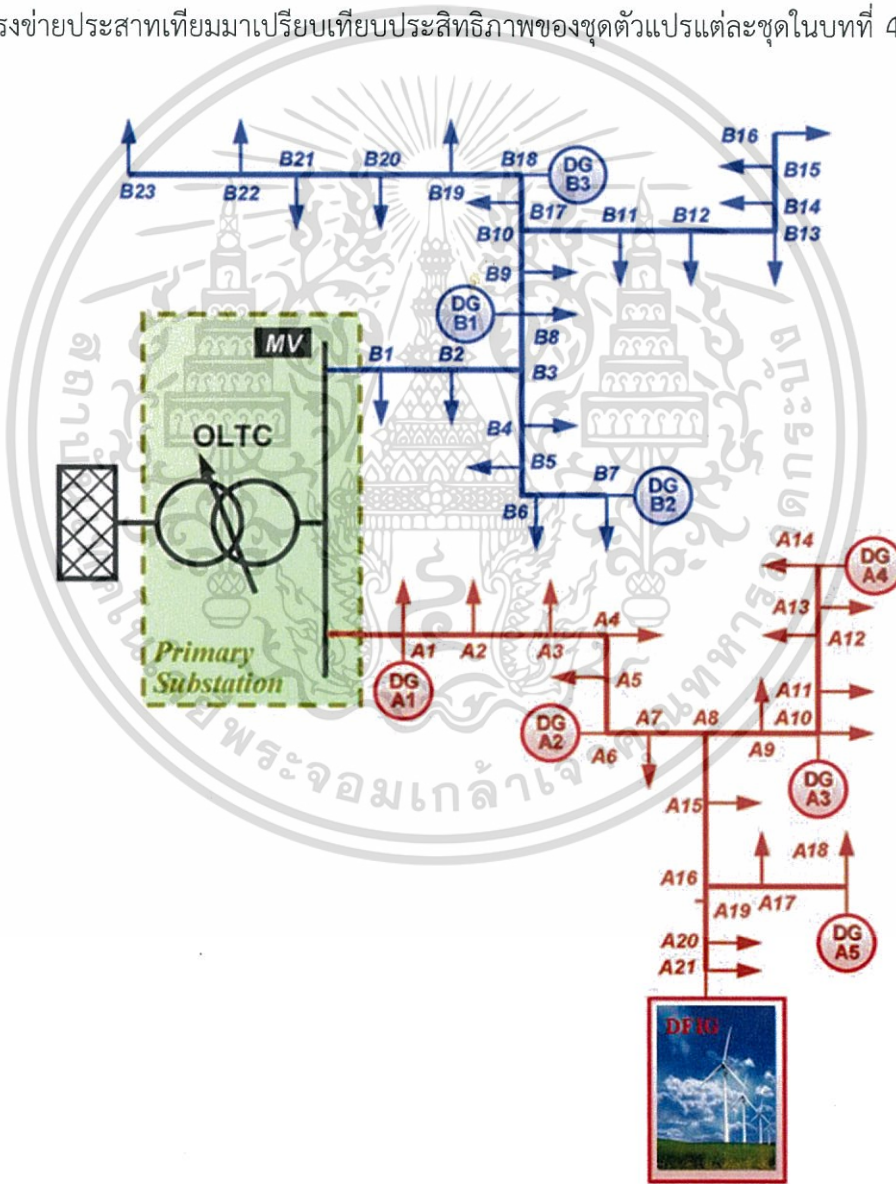
$$L = \begin{bmatrix} \frac{O_1 - h}{g} \\ g \\ \frac{O_2 - h}{g} \\ g \\ \vdots \\ \frac{O_n - h}{g} \\ g \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

$$Q = \begin{bmatrix} L_1 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ L_2 \cdot \sigma_Y + \mu_X \\ \vdots \\ L_n \cdot \sigma_Y + \mu_X \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

โดยที่ O คือ เมตริกซ์ค่าเอาต์พุตที่ได้จาก ANN ซึ่งอยู่ในรูปแบบของการทำ Data Pre-Processing
 L คือ เมตริกซ์ O หลังจากแปลงกลับมาจากการจำกัดขอบเขต
 Q คือ เมตริกซ์ค่าเอาต์พุตที่ได้จาก ANN เป็นค่าที่อยู่ในฐานปกติ

บทที่ 3 ระบบที่ใช้ การเก็บชุดข้อมูล และวิธีการคัดเลือกตัวแปร

บทนี้จะแสดงรายละเอียดของระบบที่ใช้ทดสอบ ขั้นตอนการสร้างชุดข้อมูลเพื่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow) จากโปรแกรม DigSILENT PowerFactory [39] ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) นอกจากนี้บทนี้ยังนำเสนอวิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ และวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลฝึกสอนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม และนำผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดตัวแปรแต่ละชุดในบทที่ 4 ต่อไป



รูปที่ 3.1 ระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 45 บัส ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ

ระบบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 20kV 44 bus [40] ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 ในระบบนี้มีสายป้อนตัวนำหลักอยู่ 2 สายป้อนแยกออกจากกันหลังหม้อแปลงแบบปรับเปลี่ยนจำนวนแท็บ (n_{Tab}) ได้ในขณะที่จ่ายต่ออยู่กับระบบ (On-load Tab Changer, OLTC) คือสายป้อน A ที่มีจำนวนบัสทั้งหมด 21 บัส (A01, ..., A21) และสายป้อน B ที่มีจำนวนบัสทั้งหมด 23 บัส (B01, ..., B23) โดยในฝั่งสายป้อน A มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบทั้งหมด 5 ตัว คือ DGA1, DGA2, DGA3, DGA4, DGA5 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมชนิดป้อนสองทางอีก 1 แห่ง คือ DFIG และในฝั่งสายป้อน B มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบทั้งหมด 3 ตัว คือ DGB1, DGB2, DGB3

สาเหตุที่เลือกระบบนี้มาใช้ในการทดสอบ เนื่องจากในระบบนี้มีการเชื่อมต่อเป็นแบบเรเดียล (Radial System) ทำให้อาจประสบปัญหาในเรื่องของแรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายสาย อีกทั้งในระบบยังมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่มีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จึงมีโอกาสทำให้เกิดปัญหาทางด้านแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้ ดังนั้นระบบนี้จึงถูกนำมาใช้เป็นระบบทดสอบในการเก็บค่าข้อมูล เพื่อนำไปแก้ไขปัญหาโดยการคำนวณค่าการควบคุมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

รายละเอียดของค่าของตัวแปรต่าง ๆ ของสายส่ง และค่าพิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกต่ออยู่ในระบบจะขอล่าวไว้ในภาคผนวก ก.

3.2 การเก็บชุดข้อมูล

ข้อมูลเพื่อการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมอาจเป็นข้อมูลที่มาจากการเก็บค่าต่าง ๆ ในสถานการณ์จริง หรืออาจมาจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยจำนวนชุดข้อมูลที่เก็บมาควรมีจำนวนในปริมาณที่มากพอสมควร เพื่อจะให้โครงข่ายประสาทเทียมได้เรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพจากข้อมูลเหตุการณ์ที่หลากหลาย ซึ่งจะส่งผลให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการคำนวณค่าได้อย่างครอบคลุมกับสถานการณ์ต่าง ๆ อย่างแม่นยำ และถูกต้องมากขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory เพื่อจำลองสถานการณ์การดำเนินการของระบบไฟฟ้าทดสอบ ด้วยการสุ่มเหตุการณ์ในสถานการณ์ต่าง ๆ ภายใต้ขอบเขตของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัว และทำการหาค่าจุดควบคุมของอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ที่ต่ออยู่ในระบบผ่านการคำนวณ Load Flow ให้ได้ค่าถูกต้องที่เหมาะสมมากที่สุดผ่านกระบวนการแบบกลุ่มอนุภาค [41] ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดของกระบวนการทำในหัวข้อ 3.2.2 ต่อไป

3.2.1 ขอบเขตค่าของอุปกรณ์ในแต่ละเหตุการณ์

การกำหนดขอบเขตของปัญหา หรือขอบเขตค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ เพื่อสร้างเหตุการณ์ในรูปแบบต่าง ๆ ขึ้นมารวบรวมเป็นชุดข้อมูล ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการสร้างชุดข้อมูลขึ้นมาทั้งหมด 2 ชุด โดยในแต่ละชุดข้อมูลมีรายละเอียดของขอบเขต และการกำหนดดังนี้

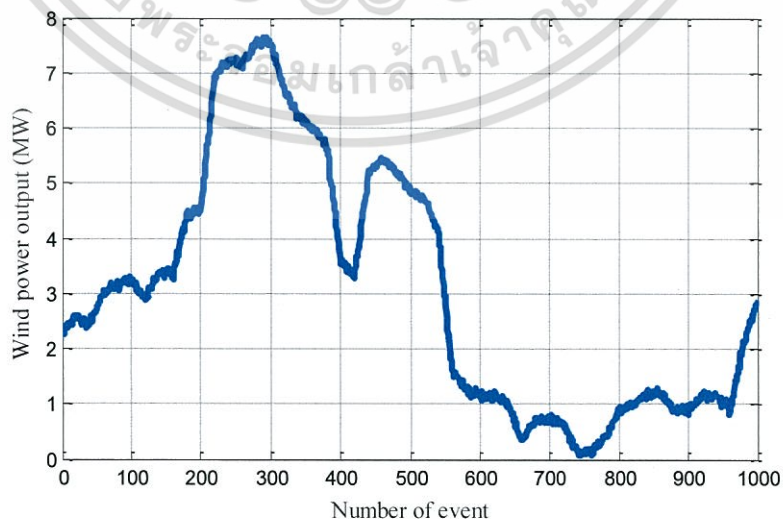
ตารางที่ 3.1 ขอบเขตการสุ่มเหตุการณ์ต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 1

| ตัวแปรเหตุการณ์ | ระดับขอบเขต | | P.F. |
|----------------------|-------------|--------|------|
| | ต่ำสุด | สูงสุด | |
| P_{DFIG} | 0 | 100 | 0.8 |
| P_{DG} | 0 | 110 | 0.8 |
| P_{Load}, Q_{Load} | 0 | 150 | - |

ชุดข้อมูลที่ 1 : กำหนดให้เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าพลังงานลม (P_{DFIG}) ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่แน่นอนจากลมที่ไม่คงที่ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตรายย่อย ($P_{DGA1}, \dots, P_{DGB3}$) อาจมีความไม่แน่นอนในการผลิต หรืออาจทำงานที่สภาวะเกินพิกัดได้ชั่วคราว และค่าความต้องการไฟฟ้าของโหลด ($P_{LoadA1}, \dots, Q_{LoadA1}, \dots$) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และอาจเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าค่าสถิติที่เคยเก็บไว้ได้ และอุปกรณ์ทุกตัวที่ต่ออยู่ในระบบมีโอกาสอาจทำงานได้ไม่ครบทุกหน่วยการผลิต หรืออาจมีการทำงานผิดพลาดทำให้ต้องปลดออกจากระบบ อันเนื่องมาจากการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ป้องกันผลกระทบของอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ

ดังนั้นการกำหนดขอบเขตของตัวแปรของชุดข้อมูลที่ 1 ในเหตุการณ์ต่าง ๆ จะได้ตามตารางที่ 3.1 โดยที่ค่าพาวเวอร์เฟเตอร์ (Power Factor : P.F.) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวจะถูกจำกัดไว้ที่ 0.8 Lagging

ชุดข้อมูลที่ 2 : เป็นชุดข้อมูลที่จะใช้ทดสอบโครงข่ายประสาทยุทธรักษ์ที่สร้างมาจากการฝึกสอนของชุดข้อมูลที่ 1 โดยที่ค่าของอุปกรณ์จะอยู่ในช่วงขอบเขตของข้อมูลชุดที่ 1 คือกำหนดให้ค่าของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าของผู้ผลิตรายย่อย และค่าความต้องการไฟฟ้าของโหลดมีค่าคงที่ที่พิกัดของอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าไม่คงที่เป็นไปตามในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

ที่เหตุการณ์ต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยกระบวนการแบบกลุ่มอนุภาค

เพื่อให้ผลลัพธ์จากโครงข่ายประสาทยูทิลิตี้สามารถถูกนำไปใช้ได้จริง และมีค่าที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค มาใช้หาค่าจุดควบคุมของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. กำหนดจำนวนของเหตุการณ์ที่ต้องการ (โดยที่ค่า E_{\max} ของชุดข้อมูลที่ 1 และ ชุดข้อมูลที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1471 และ 1000 ตามลำดับ)
2. กำหนดจำนวนอนุภาค ($n=50$) และรอบการคำนวณ ($m_{\max}=20$)
3. กำหนดค่าของอุปกรณ์ P_{DFIG} , P_{DG} , P_{Load} , Q_{Load} ทุกตัวที่ต่ออยู่ในระบบ โดยมีขอบเขตอยู่ในช่วงดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 3.2.1
4. กำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นในแต่ละมิติของแต่ละอนุภาค (X^m) (ตามจำนวนตัวแปรที่ต้องการหาค่าในที่นี่มี 9 ค่า คือ จำนวนแท๊ปของหม้อแปลง OLTC (n_{Tab}) ที่มีค่าอยู่ในช่วง -9 ถึง +15 จำนวน 1ค่า และค่าแรงดันปรับตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบกระจายในระบบ ($V_{setpDGA1}$, ..., $V_{setpDGA5}$, $V_{setpDGB1}$, ..., $V_{setpDGB3}$) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.95 ถึง 1.05 จำนวน 8 ค่า) ด้วยการสุ่ม
5. กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้น (V^m) ในแต่ละมิติของแต่ละอนุภาคด้วยการสุ่ม โดยในที่นี่กำหนดขอบเขตให้มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1
6. เริ่มเข้าสู่กระบวนการวนซ้ำของจำนวนรอบการหาค่าตอบ ($m=1$)
7. เริ่มเข้าสู่กระบวนการวนซ้ำของจำนวนอนุภาคทั้งหมด ($i=1$)
8. ป้อนค่าทั้ง 9 มิติของอนุภาคลงในอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบ
9. คำนวณ Load Flow
10. นำค่าแรงดันในแต่ละบัสมาคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) เพื่อหาค่าผลรวมของผลต่างแรงดันทุกบัสที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าปกติ เขียนได้ดังนี้

$$f_i^m = \sum_{k=1}^{N_{bus}} |V_k - 1| \quad (3.1)$$

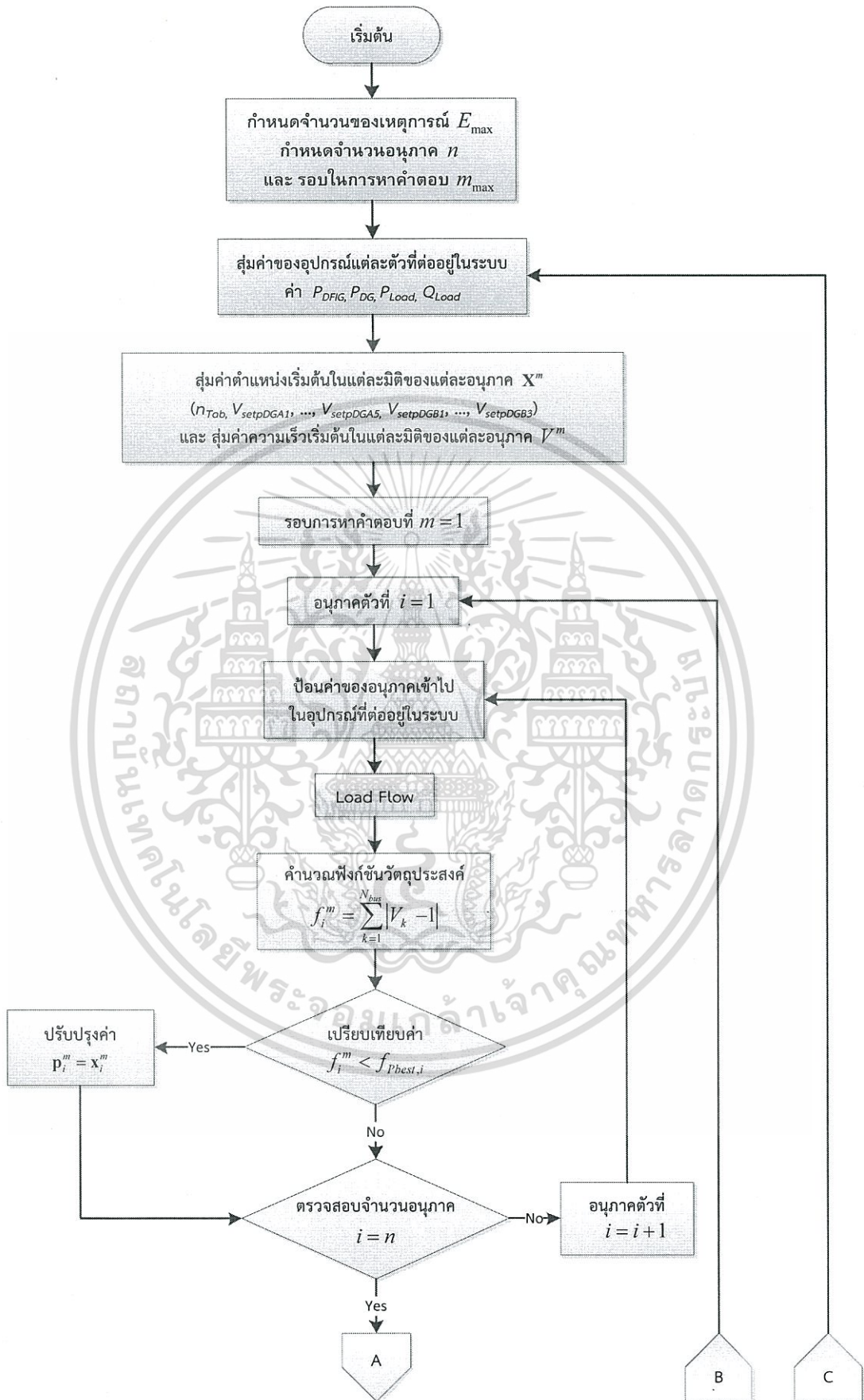
โดยที่ f_i^m คือ ค่าความผิดพลาดที่ใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบคุณภาพของอนุภาคตัวที่ i รอบการคำนวณที่ m (p.u.)
 V_k คือ ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในบัสที่ k (p.u.)
 N_{bus} คือ จำนวนของบัสทั้งหมดในระบบไฟฟ้า (ในที่นี่ $N_{bus} = 44$)

11. ปรับปรุงค่า P_{best}^m โดยการเปรียบเทียบค่า f เดิมของอนุภาคตัวเองที่เก็บอยู่ใน P_i^m ($f_{Pbest,i}$) กับค่า f_i^m ที่ได้มาจากการคำนวณรอบปัจจุบัน ถ้า f_i^m มีค่าน้อยกว่า $f_{Pbest,i}$ ก็จะปรับปรุงค่า P_i^m มีค่าเท่ากับตำแหน่งของอนุภาคในรอบปัจจุบัน (X_i^m) แต่ถ้า f_i^m มีค่ามากกว่า $f_{Pbest,i}$ ก็คงค่า P_i^m เดิมไว้
12. ตรวจสอบการวนครบของจำนวนอนุภาคใน 1 รอบการคำนวณ ถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำในข้อที่ 8. และกำหนดให้ $i=i+1$

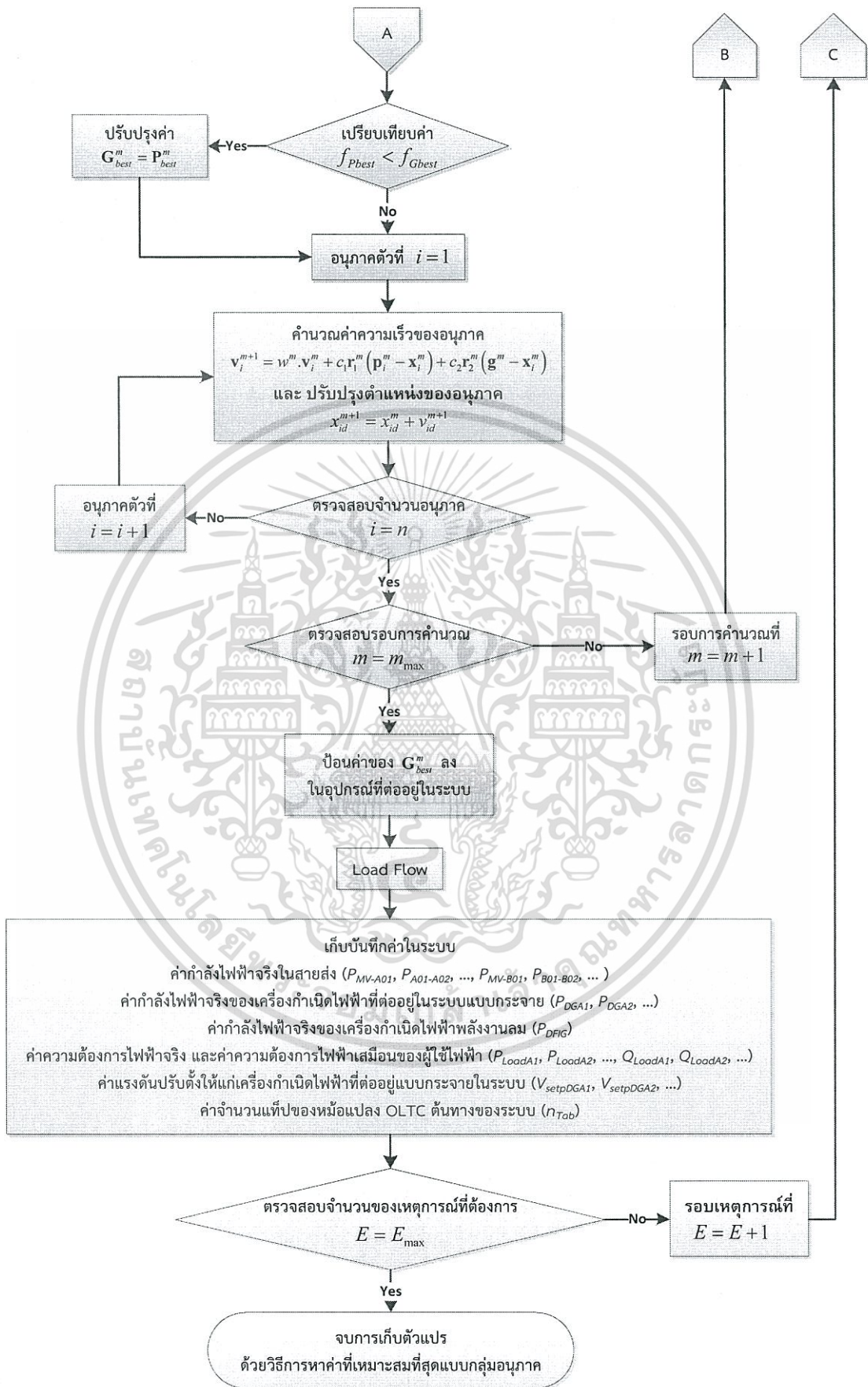
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ปรับปรุงค่า G_{best}^m โดยจะเลือกค่า f_i^m ที่น้อยที่สุดจากทุกอนุภาคใน $P_{best}^m (f_{Pbest})$ มาเปรียบเทียบกับค่า f ของ G_{best}^m เดิม (f_{Gbest}) ถ้า f_{Pbest} มีค่าน้อยกว่า f_{Gbest} ก็จะปรับปรุงค่า G_{best}^m มีค่าเท่ากับ P_{best}^m ของอนุภาคที่มีค่า f_i^m ที่น้อยที่สุดจากทุกอนุภาค แต่ถ้า f_{Pbest} มีค่ามากกว่า f_{Gbest} ก็คงค่า G_{best}^m เดิมไว้
14. ปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งในการหาค่าตอบตามกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคดังสมการที่ (2.5) และ (2.8) ตามลำดับ
15. ตรวจสอบการครบรอบการคำนวณ ถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำในข้อที่ 7. และกำหนดให้ $m = m + 1$
16. นำค่า G_{best}^m ที่ได้แทนค่าลงไปในอุปกรณ์ในระบบ
17. ทำการคำนวณ Load Flow
18. เก็บค่าที่ต้องการเป็นอินพุตแก่โครงข่ายประสาทเทียมคือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง ($P_{MV-A01}, P_{A01-A02}, \dots, P_{MV-B01}, P_{B01-B02}, \dots$) ทั้งหมด 44 ค่า ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบแบบกระจาย และค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ($P_{DGA1}, P_{DGA2}, \dots, P_{DGB3}, P_{DFIG}$) ทั้งหมด 9 ค่า ค่าความต้องการไฟฟ้าจริงและเสมือนของโหลด ($P_{LoadA1}, P_{LoadA2}, \dots, Q_{LoadA1}, Q_{LoadA2}, \dots$) ทั้งหมด 74 ค่า และค่าเอาต์พุตคือ ค่าแรงดันปรับตั้งให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบ ($V_{setpDGA1}, V_{setpDGA2}, \dots$) ทั้งหมด 8 ค่า และค่าจำนวนแท๊ปของหม้อแปลง OLTC ต้นทางของระบบ (n_{Tab}) ทั้งหมด 1 ค่า
19. ตรวจสอบการครบรอบจำนวนของเหตุการณ์ที่ต้องการ ถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำในข้อที่ 3. และกำหนดให้ $E = E + 1$
20. จบการทำงานเก็บค่าตัวแปรด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

การทำงานทั้งหมดที่ได้กล่าวมาสามารถนำมาอธิบายเป็นรูปแผนผังทำงานแบบทั้งหมดแบบพอสังเขปได้ตามในรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

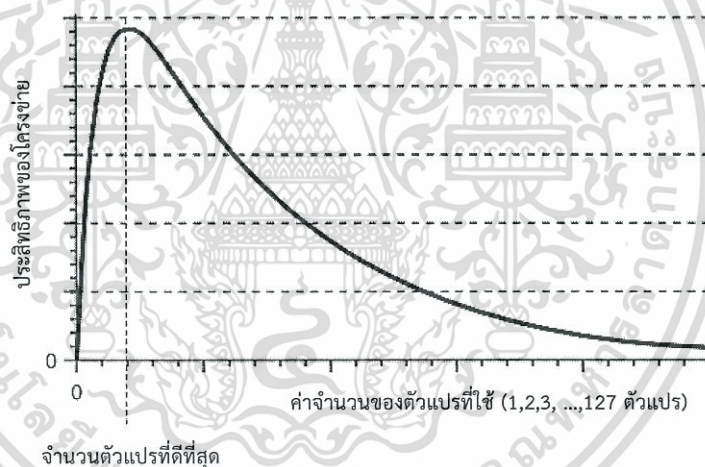


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการวิจัยเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
รูปที่ 3.3 แผนผังการสร้างและเก็บของมูลด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการสร้างจำนวนชุดข้อมูลของเหตุการณ์ทั้งหมดที่ได้ผ่านกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่ได้กล่าวมาแล้วในช่วงต้นของชุดข้อมูลที่ 1 มีทั้งหมด 1471 เหตุการณ์ และชุดข้อมูลที่ 2 มีทั้งหมด 1000 เหตุการณ์ ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรที่จะทำการคัดเลือกเป็นตัวแปรอินพุตให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม ทั้งหมด 127 ตัวแปร และตัวแปรเอาต์พุตที่จะนำไปเป็นค่าควบคุมแท็บหม้อแปลง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบทั้งหมด 9 ตัวแปร

3.3 วิธีการคัดเลือก และการกำจัดตัวแปร

การป้อนข้อมูลจำนวนมากเข้าไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมไม่จำเป็นที่จะทำให้ได้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าที่ดีขึ้นด้วยตาม Curse of Dimensionality [42,43] ดังในรูปที่ 3.4 ที่แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนตัวแปรที่ใช้ในช่วงแรกจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงระดับหนึ่งที่มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนตัวแปรที่ใช้จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมลดลงเรื่อย ๆ แทน ดังนั้นการคัดเลือกเพื่อลดตัวแปรที่ใช้ในการเรียนรู้จึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมกับจำนวนตัวแปรที่ใช้ (ดัดแปลงมาจาก[43])

เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมจึงควรมีการคัดเลือกตัวแปรให้เหมาะสมก่อน โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยกระบวนการจัดกลุ่มแบบ K-mean ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง และนำมาเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการสอนโครงข่ายประสาทเทียมกับวิธีที่แตกต่างกันอีก 4 วิธี โดยที่ในการคัดเลือกตัวแปรของแต่ละวิธีจะใช้ข้อมูลจากชุดข้อมูลที่ 1 ทำการคัดเลือก เพราะว่าเป็นชุดข้อมูลที่มีการกำหนดขอบเขตของตัวแปรครอบคลุมกับชุดข้อมูลที่ 2 และมีจำนวนเหตุการณ์ที่มากกว่า ซึ่งรายละเอียด และขั้นตอนในการคัดเลือกจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

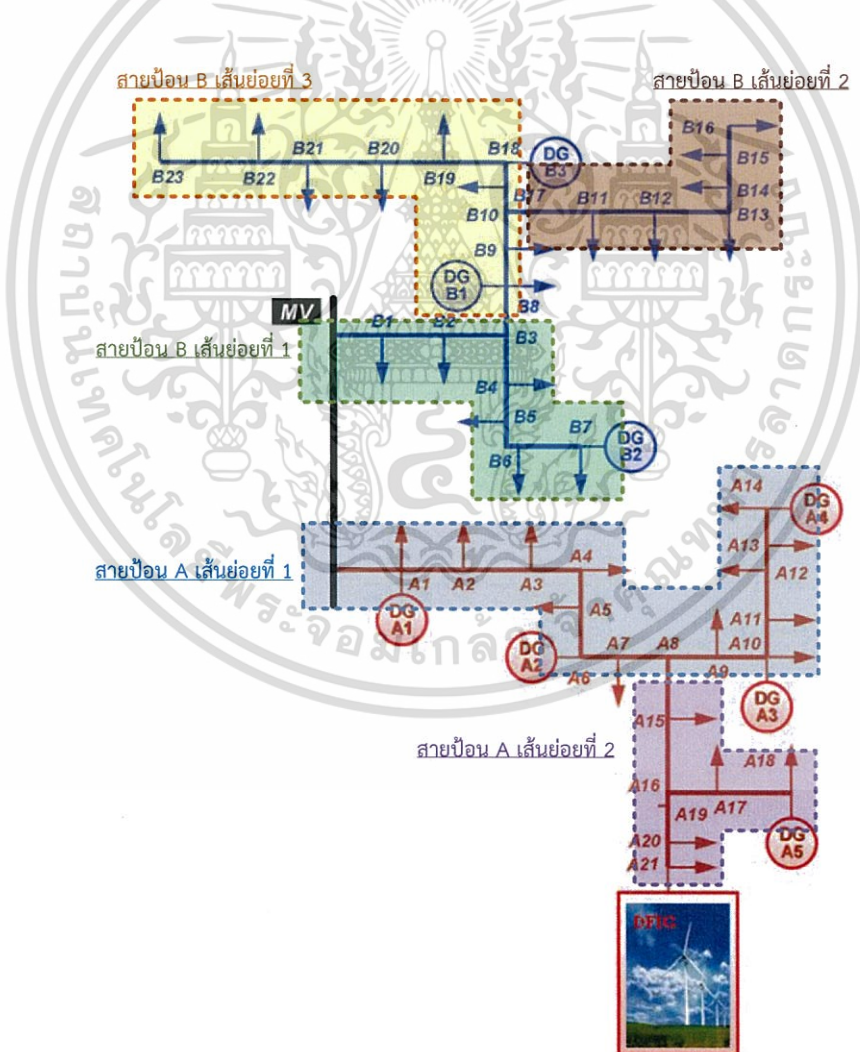
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ

วิธีการที่นำเสนอนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) ระหว่างตัวแปรอินพุตที่เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง กับค่าตัวแปรเอาต์พุตที่เป็นค่าควบคุมต่าง ๆ ในระบบ มาใช้เป็นค่าในการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธีแบบ K-mean เพื่อจัดกลุ่มคลัสเตอร์ของตัวแปรอินพุตที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มตัวแปรเอาต์พุตที่คล้ายคลึงกันไว้ด้วยกัน แล้วทำการคัดเลือกตัวแทนของกลุ่ม ๆ นั้นจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมมากที่สุดมาเพียงตัวเดียว

สาเหตุที่เลือกใช้เพียงค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งเท่านั้นอันเนื่องมาจากค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งเป็นค่าที่ได้รวมปริมาณผลกระทบของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เข้าไว้แล้ว เช่น กำลังไฟฟ้าของโหลด กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่มาบรรจบกันของสายส่งอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง เป็นต้น

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตกับค่าตัวแปรเอาต์พุตที่ได้ไว้กล่าวข้างต้นจะใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Science (SPSS) [44] ในการคำนวณ ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงรวมกันไว้ในตารางในภาคผนวกที่ ข.1



รูปที่ 3.5 การแบ่งกลุ่มของสายป้อนเส้นย่อยทั้งหมดในระบบ ด้วยวิธีที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนทำการจัดกลุ่มตัวแปรตามวิธีที่นำเสนอ ระบบจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยก่อน คือ แบ่งกลุ่มของสายป้อน A ออกเป็นเส้นย่อยได้ 2 เส้น และแบ่งกลุ่มของสายป้อน B ออกเป็นเส้นย่อยได้ 3 เส้น ตามจุดเชื่อมต่อกันของสายป้อน เพื่อลดปัญหาการจับกลุ่มกันแบบกระโดดของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งเส้นที่ไม่ได้อยู่ติดกัน ดังในรูปที่ 3.5

เพื่ออำนวยความสะดวกของผลจากการจัดกลุ่ม ตารางสรุปรายละเอียดถูกแสดงไว้ในรูปแบบของขอบเขต และจำนวนตัวแปรในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์ที่ได้จากแต่ละกลุ่มย่อย โดยที่ผลการจัดกลุ่มของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 1 และเส้นย่อยที่ 2 แสดงดังตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ และกลุ่มของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 1 ถึงเส้นย่อยที่ 3 แสดงดังตารางที่ 3.4 ถึง 3.6 ตามลำดับ ในตารางจะแสดงจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ที่ใช้กำหนดในกระบวนการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-mean ที่แตกต่างกัน และรายละเอียดในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์ที่ได้ (โดยที่ C_i คือ กลุ่มของตัวแปรที่จับกลุ่มกันคลัสเตอร์ที่ i) เพื่อดูแนวโน้มในลักษณะการแยกตัว หรือจับตัวกันของกลุ่มตัวแปรในการนำมาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้จำนวนคลัสเตอร์ที่ดูมีเหมาะสมกับจำนวนตัวแปร (โดยพยายามคัดเลือกให้มีจำนวนกลุ่มน้อยที่สุดแต่ยังคงความครอบคลุมกับตัวแปรอื่น ๆ ได้มาก) และมีความเหมาะสมจากการวิเคราะห์พฤติกรรมทางกายภาพของกลุ่มตามดุลพินิจของผู้พิจารณา ส่วนตารางแจกแจงตัวแปรแต่ละตัวของการจัดกลุ่มคลัสเตอร์ในการกำหนดจำนวนคลัสเตอร์ที่ค่าต่าง ๆ ตามรูปแบบปกติของวิธี K-mean กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของแต่ละตัวแปรที่ได้จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

ตารางที่ 3.2 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 1 ด้วยวิธีที่นำเสนอ

| คลัสเตอร์ที่ จำนวน กลุ่มคลัสเตอร์ (K-mean) | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 | บัส MV ถึง A13 ทั้งหมด 13 ตัว แปร | บัส A13 ถึง A14 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | - | - |
| 3 | บัส MV ถึง A06 ทั้งหมด 6 ตัวแปร | บัส A06 ถึง A13 ทั้งหมด 7 ตัวแปร | บัส A13 ถึง A14 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | - |
| 4 | บัส MV ถึง A06 ทั้งหมด 6 ตัวแปร | บัส A06 ถึง A12 ทั้งหมด 6 ตัวแปร | บัส A12 ถึง A13 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | บัส A13 ถึง A14 ทั้งหมด 1 ตัวแปร |

ตารางที่ 3.3 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 ด้วยวิธี
ที่นำเสนอ

| จำนวน กลุ่มคลัสเตอร์ (K-mean) | คลัสเตอร์ที่ C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 2 | บัส A08 ถึง A18 ทั้งหมด 4 ตัวแปร | บัส A16 ถึง A21 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | - | - |
| 3 | บัส A08 ถึง A17 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส A16 ถึง A21 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส A17 ถึง A18 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | - |
| 4 | บัส A08 ถึง A17 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส A16 ถึง A19 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | บัส A17 ถึง A18, บัส A19 ถึง A20 ทั้งหมด 2 ตัวแปร | บัส A20 ถึง A21 ทั้งหมด 1 ตัวแปร |

ตารางที่ 3.4 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 1 ด้วยวิธี
ที่นำเสนอ

| จำนวน กลุ่มคลัสเตอร์ (K-mean) | คลัสเตอร์ที่ C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 | บัส MV ถึง B03 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส B03 ถึง B07 ทั้งหมด 4 ตัวแปร | - | - |
| 3 | บัส MV ถึง B03 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส B03 ถึง B06 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส B06 ถึง B07 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | - |
| 4 | บัส MV ถึง B03 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส B03 ถึง B05 ทั้งหมด 2 ตัวแปร | บัส B05 ถึง B06 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | บัส B06 ถึง B07 ทั้งหมด 1 ตัวแปร |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

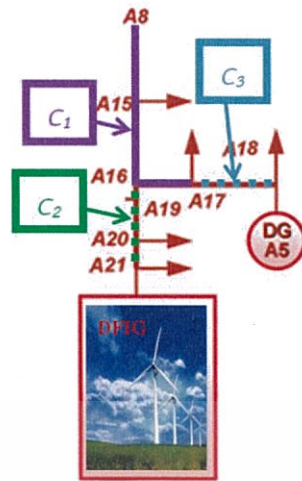
ตารางที่ 3.5 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 2 ด้วยวิธี
ที่นำเสนอ

| จำนวน กลุ่มคลัสเตอร์ (K-mean) | คลัสเตอร์ที่ C_1 | C_2 | C_3 |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 | บัส B10 ถึง B15 ทั้งหมด 5 ตัวแปร | บัส B15 ถึง B16 ทั้งหมด 1 ตัวแปร | - |
| 3 | บัส B10 ถึง B13 ทั้งหมด 3 ตัวแปร | บัส B13 ถึง B15 ทั้งหมด 2 ตัวแปร | บัส B15 ถึง B16 ทั้งหมด 1 ตัวแปร |

ตารางที่ 3.6 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 3 ด้วยวิธี
ที่นำเสนอ

| จำนวน กลุ่มคลัสเตอร์ (K-mean) | คลัสเตอร์ที่ C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 3 | บัส B03 ถึง B08 ทั้งหมด 1 ตัว แปร | บัส B08 ถึง B18 ทั้งหมด 4 ตัว แปร | บัส B18 ถึง B23 ทั้งหมด 5 ตัว แปร | - | - |
| 4 | บัส B03 ถึง B08 ทั้งหมด 1 ตัว แปร | บัส B08 ถึง B17 ทั้งหมด 3 ตัว แปร | บัส B17 ถึง B18 ทั้งหมด 1 ตัว แปร | บัส B18 ถึง B23 ทั้งหมด 5 ตัว แปร | - |
| 5 | บัส B03 ถึง B08 ทั้งหมด 1 ตัว แปร | บัส B08 ถึง B17 ทั้งหมด 3 ตัว แปร | บัส B17 ถึง B18 ทั้งหมด 1 ตัว แปร | บัส B18 ถึง B21 ทั้งหมด 3 ตัว แปร | บัส B21 ถึง B23 ทั้งหมด 2 ตัว แปร |

การวิเคราะห์เพื่อเลือกใช้จำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ที่เหมาะสมตามดุลพินิจของทำผู้วิจัยในกลุ่ม
ของสายป้อน A จะแสดงตัวอย่างของเส้นย่อยที่ 2 และในส่วนของสายป้อน B จะแสดงตัวอย่างของ
เส้นย่อยที่ 3 เท่านั้น เนื่องจากมีเกณฑ์การคัดเลือกที่ใช้พิจารณาคลายคลึงกัน



รูปที่ 3.6 ลักษณะกลุ่มของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 เมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3

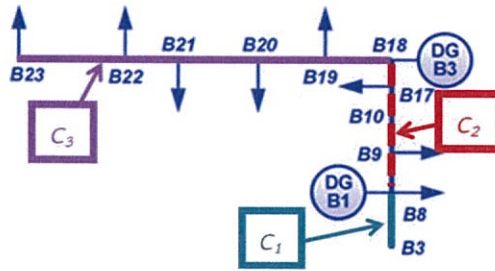
ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลการจัดกลุ่มตัวแปรกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 ด้วยวิธี K-mean จากในตารางที่ 3.3 มีกำหนดจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ทั้งหมด 3 รูปแบบ คือตั้งแต่ 2 ถึง 4 กลุ่ม ทำให้ได้รูปแบบของกลุ่มที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง เมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 2 กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_1 มีการจับกลุ่มของตัวแปรตลอดแนวยาวมาจนถึงปลายสายที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DGA5 ต่ออยู่ ซึ่งในบริเวณท้ายบัสนี้ควรมีกลุ่มคลัสเตอร์เพิ่มขึ้นมา เพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบที่มาจากการผลิตกำลังไฟฟ้าจาก DGA5 โดยตรง และเมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 4 จะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นมา โดยมาจากการแยกจากกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_2 ของการให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3 ซึ่งตัวแปรที่แยกกลุ่มจะไปรวมอยู่กับกลุ่มคลัสเตอร์ที่ 3 ในบริเวณปลายสายด้าน DGA5 ทำให้ลักษณะของกลุ่มที่ได้ไม่มีความเหมาะสมจากสายป้อนที่ไม่ได้อยู่ติดกันแต่มีพฤติกรรมที่อยู่กลุ่มเดียวกัน และจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ที่มีมากเกินไปความเหมาะสม เมื่อเทียบกับจำนวนตัวแปรที่มีอยู่ในกลุ่มของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 ทั้งหมด ดังนั้นในการให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3 ที่สามารถแสดงการจัดกลุ่มที่ได้ดังรูปที่ 3.6 จึงมีความเหมาะสมมากที่สุด และมีเหตุผลในการวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ได้ลักษณะของกลุ่มออกมาดังต่อไปนี้

- กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_1 เป็นกลุ่มของกำลังไฟฟ้าจริงในสายป้อนตั้งแต่บัสที่ A08 ถึงบัสที่ A17 เป็นบริเวณที่รับของกำลังไฟฟ้าจากกลุ่มของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 1 เข้ามาก่อนที่จะกระจายกำลังไฟฟ้าไปให้กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_2 กรณีที่ DFIG จ่ายกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอ กับค่าความต้องการในกลุ่ม และกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_3 กรณีที่ DGA5 จ่ายกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอ กับค่าความต้องการในกลุ่มเช่นกัน หรือในสภาวะปกติที่ค่าพิกัด ในกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_1 จะเป็นบริเวณที่รวมของกำลังไฟฟ้าจากทั้ง 2 กลุ่มคลัสเตอร์ เนื่องจากทั้ง DGA5 และ DFIG มีกำลังการผลิตที่มากเกินไปกว่าความต้องการทางไฟฟ้าในกลุ่มคลัสเตอร์ของตัวเอง ดังนั้นจึงทำให้ระดับหรือพฤติกรรมความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งมีค่าที่แตกต่างกับกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_2 และ C_3

- กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_2 เป็นกลุ่มของกำลังไฟฟ้าจริงในสายป้อนตั้งแต่บัสที่ A16 ถึงบัสที่ A21 โดยเป็นกลุ่มบริเวณที่รับกำลังไฟฟ้าเข้ามาเพิ่มในกรณีที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก DFIG มีค่าไม่เพียงพอกับความต้องการในบริเวณนี้ หรือเป็นบริเวณที่ได้รับกำลังไฟฟ้าที่มาจาก DFIG ส่งกำลังไฟฟ้าออกไปในกรณีที่ DFIG ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ในปริมาณที่มากกว่าความต้องการทางไฟฟ้าในคลัสเตอร์นี้ ทำให้กลุ่มของกำลังไฟฟ้าจริงในสายป้อนตั้งแต่บัสที่ A16 ถึงบัสที่ A21 มีระดับและพฤติกรรมความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงที่แตกต่างกับกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_1
- กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_3 เป็นกลุ่มที่มีสมาชิกเพียงตัวแปรเดียวคือ กำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อนบัสที่ A17 ถึงบัสที่ A18 เนื่องมาจากกลุ่มนี้เป็นจุดที่อยู่ท้ายสุดของสายป้อนที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DGA5 ต่ออยู่ ซึ่งผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้มากและส่งได้เพียงทิศทางเดียว ทำให้ระดับของกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่จุดนี้มาค่าสูงและส่งผลพฤติกรรมความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงของสายป้อนนี้แตกต่างกับกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_1

ดังนั้นในการจัดกลุ่มตัวแปรของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 จะได้ตัวแปรที่เป็นตัวแทนในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมจากตารางในภาคผนวกที่ ค.2 ออกมาทั้งหมด 3 ตัวดังนี้คือ $P_{A16-A17}$, $P_{A16-A19}$, $P_{A17-A18}$

สุดท้ายตัวอย่างการวิเคราะห์ผลการจัดกลุ่มตัวแปรกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 3 ด้วยวิธี K-mean จากในตารางที่ 3.6 มีกำหนดจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ทั้งหมด 3 รูปแบบคือตั้งแต่ 3 ถึง 5 กลุ่ม ทำให้ได้รูปแบบของกลุ่มที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง เมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 4 และ 5 ในกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_3 ไม่ควรมีการแยกกลุ่มออกมาอีกจากในกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_2 ของการให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3 เนื่องจากมีจำนวนตัวแปรในกลุ่มคลัสเตอร์ที่น้อย ตัวแทนของกลุ่มคลัสเตอร์ที่จะได้ออกมาจึงมีความครอบคลุมกับตัวแปรในกลุ่มแล้ว และเมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 5 กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_4 ที่แยกมาจากกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_3 ของการให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3 ไม่มีความจำเป็น เนื่องจากเป็นกลุ่มคลัสเตอร์ที่มีจำนวนตัวแปรที่น้อย และไม่มีปัจจัยที่ส่งผลจะทำให้ต้องมีการแยกกลุ่มอีกในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เข้ามาทางเดียวจากทางด้าน DGA3 ในบัสที่ B18 เท่านั้น ดังนั้นในการให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3 ที่สามารถแสดงการจัดกลุ่มที่ได้ดังรูปที่ 3.7 จึงความเหมาะสมมากที่สุดและมีเหตุผลในการวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ได้ลักษณะของกลุ่มออกมาดังนี้



รูปที่ 3.7 ลักษณะกลุ่มของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 3 เมื่อให้จำนวนคลัสเตอร์เท่ากับ 3

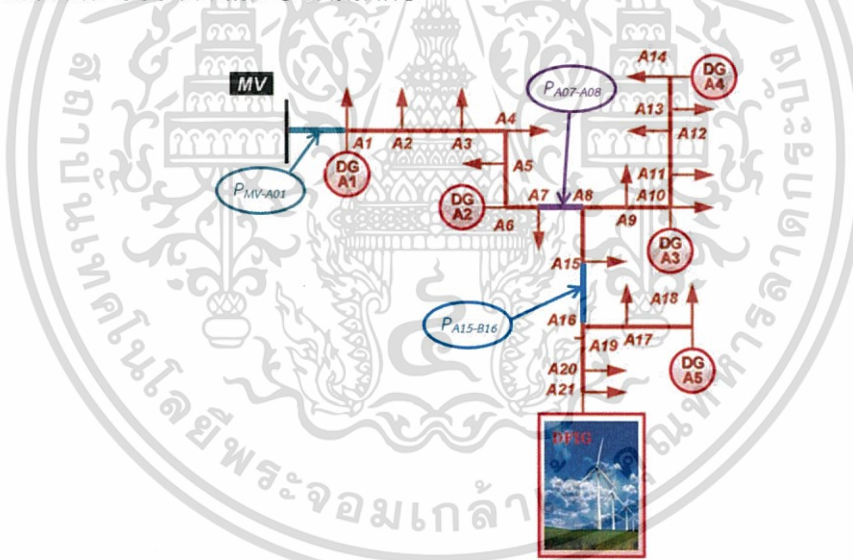
- กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_1 เป็นกลุ่มของกำลังไฟฟ้าจริงในสายป้อนตัวแปรเดียวในบัสที่ B03 ถึงบัสที่ B08 ซึ่งอาจเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบมาจากกำลังไฟฟ้าของ DGB1 ในบัสที่ B08 ในกรณีที่ DGB1 มีกำลังการผลิตที่มากเกินความต้องการทางไฟฟ้ากับบริเวณท้ายสายป้อนนี้ จึงส่งกำลังไฟฟ้ากลับมา แต่ในเหตุการณ์ปกติที่ค่าพิกัด DGB1 มีกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการตลอดสายป้อนนี้ จึงต้องทำให้มีการรับกำลังไฟฟ้าเข้ามาระดับหนึ่งจากกลุ่มของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 1 จนถึงในบัสที่ B08 ที่มี DGB1 ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าอยู่ ดังนั้นจึงทำให้ระดับหรือพฤติกรรมความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งมีค่าที่แตกต่างกันหลังจากบัสที่ B08 เป็นต้นไป
- กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_2 เป็นกลุ่มของกำลังไฟฟ้าจริงในสายป้อนตั้งแต่บัสที่ B08 ถึงบัสที่ B18 โดยในบัสที่ B08 ถึง B10 อาจได้รับกำลังไฟฟ้ามาจากด้านกลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_1 รวมกับกำลังไฟฟ้าจาก DGB1 เพื่อเข้าช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปในกลุ่มของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 2 ที่บัส B10 และเช่นเดียวกับทางด้านสายป้อนตั้งแต่บัสที่ B10 ถึงบัสที่ B18 อาจเป็นบริเวณที่ได้รับกำลังไฟฟ้าจาก DGB3 เข้ามาเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปในกลุ่มของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 2 ที่บัส B10 เช่นกัน จึงทำให้กลุ่มของกำลังไฟฟ้าจริงในสายป้อนตั้งแต่บัสที่ B08 ถึงบัสที่ B18 มีระดับและพฤติกรรมความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงที่ใกล้เคียงกัน
- กลุ่มคลัสเตอร์ที่ C_3 เป็นกลุ่มของกำลังไฟฟ้าจริงในสายป้อนตั้งแต่บัสที่ B18 ถึงบัสที่ B23 โดยเป็นบริเวณที่ได้รับกำลังไฟฟ้ามาจากทางด้าน DGB3 ในจุดที่ B18 มาตลอดเส้น โดยไม่มีปัจจัยอื่นมาเป็นผลกระทบเพิ่มเติม จึงทำให้มีระดับ และพฤติกรรมความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งที่ลดลงแบบใกล้เคียงกันตลอดกลุ่มคลัสเตอร์นี้

ดังนั้นในการจัดกลุ่มตัวแปรของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 3 จะได้ตัวแปรที่เป็นตัวแทนในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมจากตารางในภาคผนวกที่ ค.5 ออกมาทั้งหมด 3 ตัวดังนี้คือ $P_{B03-B08}$, $P_{B09-B10}$, $P_{B18-B19}$

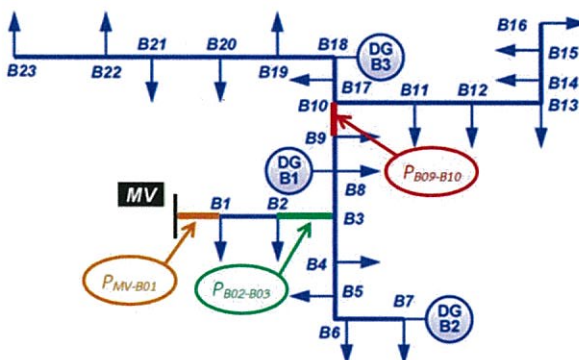
หลังจากได้ทำการคัดเลือกตัวแปรตาม 2 ตัวอย่างที่ได้กล่าวมากับสายป้อนย่อยทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ สามารถสรุปวิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ มีตัวแปรที่ได้คือ $P_{A01-A02}$, $P_{A06-A07}$, $P_{A13-A14}$, $P_{A16-A17}$, $P_{A17-A18}$, $P_{A16-A19}$, $P_{B02-B03}$, $P_{B03-B04}$, $P_{B03-B08}$, $P_{B09-B10}$, $P_{B10-B11}$, $P_{B15-B16}$, $P_{B18-B19}$ รวมทั้งหมด 13 ตัวแปร

3.3.2 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1

วิธีเปรียบเทียบที่ 1 จะใช้การคัดเลือกโดยเลือกเอาตามประสบการณ์ในการวิเคราะห์จากผู้ทำการวิจัยเอง โดยเลือกใช้แต่กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเท่านั้น (จากเหตุผลเดียวกับที่ได้กล่าวอยู่ในหัวข้อที่ 3.3.1 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ) และเงื่อนไขการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1 นี้จะเลือกกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งในตำแหน่งบริเวณจุดก่อนที่จะมีการแยกกันของสายส่งแต่ละจุด เนื่องจากเป็นจุดที่เปรียบเสมือนจุดที่รวมความสัมพันธ์ ความเกี่ยวข้องกันของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของสายนั้น ๆ ก่อนที่ กำลังไฟฟ้าจะถูกกระจายออกแจกจ่ายไปตามแต่ละเส้น ดังนั้นในสายป้อน A จะได้ 2 ตัวแปร คือ $P_{A07-A08}$ และ $P_{A15-A16}$ และในสายป้อน B จะได้ 2 ตัวแปรเช่นกัน คือ $P_{B02-B03}$ และ $P_{B09-B10}$ และทำการเลือกค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งที่ตำแหน่งต้นสายของแต่ละสายป้อนจะได้อีก 2 ตัวแปร คือ P_{MV-A01} และ P_{MV-B01} ตามในรูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9 แสดงการเลือกตัวแปรในสายป้อน A และ B ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งตัวแปรของสายป้อน A ที่ได้ในวิธีเปรียบเทียบที่ 1



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งตัวแปรของสายป้อน B ที่ได้ในวิธีเปรียบเทียบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1 มีตัวแปรที่ได้คือ P_{MV-A01} , $P_{A07-A08}$, $P_{A15-A16}$, P_{MV-B01} , $P_{B02-B03}$, $P_{B09-B10}$ รวมทั้งหมด 6 ตัวแปร

3.3.3 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2

การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มาเป็นเงื่อนไขในการคัดเลือกตัวแปรเท่านั้น โดยจะหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุต 127 ตัวแปรกับแต่ละเอาต์พุต 9 ตัวแปรด้วยโปรแกรม SPSS ที่มีการคำนวณเหมือนกับในการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ ในหัวข้อ 3.3.1 แต่ในวิธีนี้จะทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปรอินพุตกับตัวแปรเอาต์พุตดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันทั้งหมดที่ได้ของตัวแปรทั้ง 127 ตัวแปร จะแสดงไว้ในตารางในภาคผนวกที่ ข.1)

ตารางที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่ามากที่สุดของตัวแปรอินพุตกับตัวแปรเอาต์พุต ในวิธีเปรียบเทียบที่ 2

| Output(y) \ Input(x) | η_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| P_{DGA1} | -0.022 | 0.531 | -0.032 | 0.220 | 0.334 | 0.193 | 0.383 | 0.514 | 0.377 |
| P_{DGA2} | 0.052 | 0.422 | -0.011 | 0.258 | 0.370 | 0.249 | 0.366 | 0.551 | 0.398 |
| P_{DGB1} | -0.045 | 0.362 | -0.013 | 0.202 | 0.318 | 0.171 | 0.432 | 0.490 | 0.384 |
| $Q_{LoadA14}$ | 0.457 | -0.029 | -0.077 | -0.266 | -0.363 | -0.292 | -0.243 | -0.087 | -0.483 |
| $P_{A01-A02}$ | 0.313 | -0.298 | -0.051 | -0.390 | -0.539 | -0.397 | -0.417 | -0.497 | -0.601 |
| $P_{B02-B03}$ | 0.476 | -0.162 | -0.029 | -0.344 | -0.488 | -0.348 | -0.379 | -0.350 | -0.622 |
| $P_{B10-B11}$ | 0.596 | 0.035 | -0.024 | -0.280 | -0.394 | -0.323 | -0.200 | -0.125 | -0.530 |

ตารางที่ 3.7 จะได้ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตที่มีค่ามากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุตมาเพียงตัวแปรเดียว จากการพิจารณาแต่ขนาดของค่าความสัมพันธ์ ได้ตัวแปรดังนี้

| | | |
|---------------|---|----------------|
| $P_{B10-B11}$ | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | η_{Tab} |
| P_{DGA1} | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGA1}$ |
| $Q_{LoadA14}$ | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGA2}$ |
| $P_{A01-A02}$ | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGA3}$ |
| $P_{A01-A02}$ | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGA4}$ |
| $P_{A01-A02}$ | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGA5}$ |
| P_{DGB1} | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGB1}$ |
| P_{DGA2} | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGB2}$ |
| $P_{B02-B03}$ | มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุต | $V_{setpDGB3}$ |

สรุปการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2 มีตัวแปรที่ได้คือ P_{DGA1} , P_{DGA2} , P_{DGB1} , $P_{A01-A02}$, $P_{B02-B03}$, $P_{B10-B11}$, $Q_{LoadA14}$ รวมทั้งหมด 7 ตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3

การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีนี้ใช้ข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตกับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัวจากตารางในภาคผนวกที่ ข.1 โดยวิธีการจะเหมือนกับในการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่น่าเสนอ ในหัวข้อที่ 3.3.1 แต่จะแตกต่างด้วยชนิดของตัวแปรอินพุตที่เปลี่ยนเป็นค่าตัวแปรของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบทั้งหมด คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันลม และกำลังไฟฟ้าของโหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่ในระบบ มาจัดกลุ่มด้วยวิธีแบบ K-mean เพื่อจัดอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรเอาต์พุตที่คล้ายกันให้มาอยู่ในกลุ่มเดียวกัน แล้วเลือกตัวแทนของกลุ่มมาเพียงตัวแปรเดียว โดยใช้เกณฑ์ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมมีค่ามากที่สุด

เนื่องจากตัวแปรที่นำมาจัดกลุ่มในวิธีนี้เป็นตัวแปรอิสระต่อกัน คือ ในแต่ละตัวแปรไม่ได้รับผลกระทบที่มาจากอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต่ออยู่ในระบบ ทำให้ไม่ส่งผลกับเรื่องของตำแหน่งของอุปกรณ์ที่อยู่ติดกันจะมีพฤติกรรมที่คล้ายกันเหมือนกับตัวแปรกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งของวิธีที่น่าเสนอ ดังนั้นในวิธีนี้จะแบ่งกลุ่มย่อยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของตัวแปรฝั่งสายป้อน A กับกลุ่มของตัวแปรฝั่งสายป้อน B เพื่อให้การคัดเลือกตัวแทนที่ได้มามีความครอบคลุมในแต่ละฝั่งของสายป้อนนั้น ๆ

เพื่อให้ง่ายต่อการนำเสนอของผลจากการจัดกลุ่ม จึงสรุปตารางแสดงรายละเอียดไว้ในรูปแบบของจำนวน และประเภทของกลุ่มตัวแปรในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์จากแต่ละฝั่งสายป้อน ตามตารางที่ 3.8 และ 3.9 โดยตารางจะแสดงจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ที่ได้กำหนดในกระบวนการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-mean ที่แตกต่างกัน รายละเอียด และประเภทของกลุ่มที่ได้ เพื่อดูแนวโน้มในลักษณะการแยก หรือจับกันของกลุ่มตัวแปร นำมาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้จำนวนคลัสเตอร์ที่ดูมีเหมาะสมกับจำนวนตัวแปร (โดยพยายามคัดเลือกให้มีจำนวนกลุ่มน้อยที่สุดแต่ยังคงความครอบคลุมกับตัวแปรอื่น ๆ ในระบบ) ตามดุลพินิจของผู้พิจารณา ส่วนตารางแจกแจงตัวแปรแต่ละตัวของการจัดกลุ่มคลัสเตอร์ในการกำหนดจำนวนคลัสเตอร์ที่ค่าต่าง ๆ ตามรูปแบบปกติของวิธี K-mean กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของแต่ละตัวแปรที่ได้จะแสดงไว้ในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 3.8 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าของสายป้อน A ในวิธีเปรียบเทียบที่ 3

| คลัสเตอร์ ที่ | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| จำนวน กลุ่ม คลัสเตอร์ (K-mean) | | | | | | |
| 2 | กลุ่ม Gen ทั้งหมด 6 ตัว แปร | กลุ่ม Load ทั้งหมด 34 ตัว แปร | - | - | - | - |
| 3 | กลุ่ม DFIG ทั้งหมด 1 ตัว แปร | กลุ่ม DG ทั้งหมด 5 ตัว แปร | กลุ่ม Load ทั้งหมด 34 ตัว แปร | - | - | - |

ตารางที่ 3.8 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าของสายป้อน A ในวิธีเปรียบเทียบที่ 3 (ต่อ)

| คลัสเตอร์ ที่ | จำนวน กลุ่ม คลัสเตอร์ (K-mean) | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 | | |
|------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | 4 | กลุ่ม DFIG ทั้งหมด 1 ตัว แปร | กลุ่ม DG ทั้งหมด 5 ตัว แปร | กลุ่ม P_{Load} 9 ตัว แปร | กลุ่ม Q_{Load} 11 ตัว แปร | กลุ่ม P_{Load} 8 ตัว แปร | กลุ่ม Q_{Load} 6 ตัว แปร | - |
| | | | ทั้งหมด 20 ตัว แปร | | ทั้งหมด 14 ตัว แปร | | | | |
| 5 | กลุ่ม DFIG ทั้งหมด 1 ตัว แปร | กลุ่ม DGA1 ทั้งหมด 1 ตัว แปร | กลุ่ม DG ทั้งหมด 4 ตัว แปร | กลุ่ม P_{Load} 9 ตัว แปร | กลุ่ม Q_{Load} 11 ตัว แปร | กลุ่ม P_{Load} 8 ตัว แปร | กลุ่ม Q_{Load} 6 ตัว แปร | - | |
| | | | | ทั้งหมด 20 ตัว แปร | | ทั้งหมด 14 ตัว แปร | | | |
| 6 | กลุ่ม DFIG ทั้งหมด 1 ตัว แปร | กลุ่ม DGA1 ทั้งหมด 1 ตัว แปร | กลุ่ม DG ทั้งหมด 4 ตัว แปร | กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร | กลุ่ม Q_{Load} 7 ตัว แปร | กลุ่ม P_{Load} 9 ตัว แปร | กลุ่ม Q_{Load} 6 ตัว แปร | กลุ่ม P_{Load} 3 ตัว แปร | กลุ่ม Q_{Load} 4 ตัว แปร |
| | | | | ทั้งหมด 12 ตัว แปร | | ทั้งหมด 15 ตัว แปร | | ทั้งหมด 7 ตัว แปร | |

ตารางที่ 3.8 แสดงการจัดกลุ่มตัวแปรอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบของสายป้อน A ด้วยวิธี K-mean โดยกำหนดจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ทั้งหมด 5 ครั้ง คือตั้งแต่ 2 ถึง 6 กลุ่ม ซึ่งจะได้ชนิดของกลุ่มคลัสเตอร์ออกเป็นชนิดหลัก ๆ คือ กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกลุ่มของค่าความความต้องการของโหลด

เนื่องจากสายป้อน A มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันลมที่เป็นปัญหาหลักของระบบต่ออยู่ จึงควรเลือกใช้จำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ที่ 3 ที่มี กลุ่มของ DFIG, กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกลุ่มของค่าความความต้องการของโหลดได้ แต่เนื่องจากจำนวนของตัวแปรของค่าความความต้องการของโหลดที่มีอยู่มากจึงควรพิจารณาเลือกตัวแทนมา 2 กลุ่มคลัสเตอร์

ดังนั้นการจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกต้องอยู่ในระบบทางสายป้อน A นี้จะทำการแบ่งจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ที่ 4 และการคัดตัวแทนออกมาจากแต่ละกลุ่มย่อย โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมที่มีค่ามากที่สุดในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์จากตารางในภาคผนวกที่ ง.1 ซึ่งเอกสารจะได้ตัวแปรทั้งหมดออกมาดังนี้คือ P_{DFIG} , P_{DGA2} , $P_{LoadA02}$, $Q_{LoadA18}$ มาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ผลและรายละเอียดของการจัดกลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าของสายป้อน B ในวิธีเปรียบเทียบที่ 3

| คลัสเตอร์ ที่ | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| จำนวน กลุ่ม คลัสเตอร์ (K-mean) | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | กลุ่ม DG ทั้งหมด 3 ตัว แปร์ | กลุ่ม Load ทั้งหมด 40 ตัวแปร์ | - | - | - | - | | | | | | | | |
| 3 | กลุ่ม DG ทั้งหมด 3 ตัว แปร์ | <table border="1"> <tr> <td>กลุ่ม P_{Load} 12 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 8 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม P_{Load} 8 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 12 ตัว แปร์</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ทั้งหมด 20 ตัว แปร์</td> <td colspan="2">ทั้งหมด 20 ตัว แปร์</td> </tr> </table> | กลุ่ม P_{Load} 12 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 8 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 8 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 12 ตัว แปร์ | ทั้งหมด 20 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 20 ตัว แปร์ | | - | - | - | |
| กลุ่ม P_{Load} 12 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 8 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 8 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 12 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | |
| ทั้งหมด 20 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 20 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | | |
| 4 | กลุ่ม DG ทั้งหมด 3 ตัว แปร์ | <table border="1"> <tr> <td>กลุ่ม P_{Load} 14 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 15 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 5 ตัว แปร์</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ทั้งหมด 29 ตัว แปร์</td> <td colspan="2">ทั้งหมด 10 ตัว แปร์</td> </tr> </table> | กลุ่ม P_{Load} 14 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 15 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 5 ตัว แปร์ | ทั้งหมด 29 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 10 ตัว แปร์ | | กลุ่ม $P_{LoadB22}$ ทั้งหมด 1 ตัว แปร์ | - | - | |
| กลุ่ม P_{Load} 14 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 15 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 5 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | |
| ทั้งหมด 29 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 10 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | | |
| 5 | กลุ่ม DGB1 ทั้งหมด 1 ตัว แปร์ | กลุ่ม DG ทั้งหมด 2 ตัว แปร์ | <table border="1"> <tr> <td>กลุ่ม P_{Load} 14 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 15 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 5 ตัว แปร์</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ทั้งหมด 29 ตัว แปร์</td> <td colspan="2">ทั้งหมด 10 ตัว แปร์</td> </tr> </table> | กลุ่ม P_{Load} 14 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 15 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 5 ตัว แปร์ | ทั้งหมด 29 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 10 ตัว แปร์ | | กลุ่ม $P_{LoadB22}$ ทั้งหมด 1 ตัว แปร์ | - | - |
| กลุ่ม P_{Load} 14 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 15 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 5 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | |
| ทั้งหมด 29 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 10 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | | |
| 6 | กลุ่ม DGB1 ทั้งหมด 1 ตัว แปร์ | กลุ่ม DG ทั้งหมด 2 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} ทั้งหมด 2 ตัว แปร์ | <table border="1"> <tr> <td>กลุ่ม P_{Load} 10 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 9 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์</td> <td>กลุ่ม Q_{Load} 7 ตัว แปร์</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ทั้งหมด 19 ตัว แปร์</td> <td colspan="2">ทั้งหมด 12 ตัว แปร์</td> </tr> </table> | กลุ่ม P_{Load} 10 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 9 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 7 ตัว แปร์ | ทั้งหมด 19 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 12 ตัว แปร์ | | กลุ่ม P_{Load} 3 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 4 ตัว แปร์ |
| กลุ่ม P_{Load} 10 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 9 ตัว แปร์ | กลุ่ม P_{Load} 5 ตัว แปร์ | กลุ่ม Q_{Load} 7 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | |
| ทั้งหมด 19 ตัว แปร์ | | ทั้งหมด 12 ตัว แปร์ | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 3.9 แสดงการจัดกลุ่มตัวแปร์อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบของสายป้อน B ด้วยวิธี K-mean โดยการกำหนดจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ทั้งหมด 5 ครั้ง คือตั้งแต่ 2 ถึง 6 กลุ่ม ซึ่งจะได้ชนิดของกลุ่มคลัสเตอร์ออกเป็นชนิดหลัก ๆ คือ กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกลุ่มของค่าความต้องการการเอกซาร์ชของโหลดการที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสายป้อน B ไม่มีตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อในระบบเป็นพิเศษ การคัดเลือกจำนวนคลัสเตอร์ที่จะนำมาใช้จึงเลือกแค่ กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกลุ่มของค่าความต้องการของโหลดเท่านั้น แต่เนื่องจากจำนวนของตัวแปรของค่าความต้องการของโหลดที่มีอยู่เยอะจึงควรพิจารณาเลือกตัวแทนมา 2 กลุ่มคลัสเตอร์

ดังนั้นการจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกต่ออยู่ในระบบทางสายป้อน B นี้จะใช้การแบ่งจำนวนกลุ่มคลัสเตอร์ที่ 3 และการคัดเลือกตัวแทนออกมาจากแต่ละกลุ่มย่อย โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมที่มีค่ามากที่สุดในแต่ละกลุ่มคลัสเตอร์จากตารางในภาคผนวกที่ ง.2 ซึ่งจะได้ตัวแปรทั้งหมดออกมาดังนี้คือ P_{DGB2} , $P_{LoadB20}$, $Q_{LoadB16}$

สรุปการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 มีตัวแปรที่ได้คือ P_{DFIG} , P_{DGA2} , P_{DGB2} , $P_{LoadA02}$, $P_{LoadB20}$, $Q_{LoadA18}$, $Q_{LoadB16}$ รวมทั้งหมด 7 ตัวแปร

3.3.5 การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4

ในวิธีนี้จะนำตัวแปรที่ได้จากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ ในหัวข้อ 3.3.1 กับการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 ในหัวข้อ 3.3.4 มารวมกันทั้งหมดคือ การนำตัวแปรของการจัดกลุ่มแบบค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง และค่าของกำลังไฟฟ้าแต่ละอุปกรณ์ที่ได้ทำการจัดกลุ่มด้วยวิธีแบบ K-mean มารวมกัน เพื่อเป็นชุดตัวแปรของวิธีเปรียบเทียบที่ 4 นี้

สรุปการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4 มีตัวแปรที่ได้คือ P_{DFIG} , P_{DGA2} , P_{DGB2} , $P_{A01-A02}$, $P_{A06-A07}$, $P_{A13-A14}$, $P_{A16-A17}$, $P_{A17-A18}$, $P_{A16-A19}$, $P_{B02-B03}$, $P_{B03-B04}$, $P_{B03-B08}$, $P_{B09-B10}$, $P_{B10-B11}$, $P_{B15-B16}$, $P_{B18-B19}$, $P_{LoadA02}$, $P_{LoadB20}$, $Q_{LoadA18}$, $Q_{LoadB16}$ รวมทั้งหมด 20 ตัวแปร

3.4 สรุปวิธีการ และจำนวนตัวแปรที่ได้ในแต่ละวิธีการคัดเลือกตัวแปร

โดยสรุปจากที่กล่าวมาข้างต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการคัดเลือกตัวแปรด้วย 5 วิธีที่แตกต่างกัน เพื่อสร้างชุดตัวแปรให้กับโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และทดสอบการคำนวณค่าควบคุมและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดตัวแปรในแต่ละชุดว่าชุดตัวแปรใดมีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งสามารถสรุปจำนวนและกระบวนการในการคัดเลือกในแต่ละวิธีมาแล้วดังนี้

การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ เป็นการคัดเลือกตัวแปรโดยอาศัยกระบวนการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธีแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของแต่ละตัวแปรอินพุตที่เป็นกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง และคัดเลือกตัวแทนกลุ่มที่มีผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมต่อแต่ละตัวแปรเอาต์พุตมากที่สุด ได้ตัวแปรอินพุตมาทั้งหมด 13 ตัวแปร

การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1 เป็นการคัดเลือกตัวแปรโดยอาศัยการวิเคราะห์และประสบการณ์จากผู้ทำวิจัยเอง โดยทำการเลือกจากค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งในบริเวณที่ก่อนถึงจุดแยกของสายในแต่ละจุด กับที่ต้นทางของแต่ละสายป้อน ได้ตัวแปรอินพุตมาทั้งหมด 6 ตัวแปร

การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2 เป็นการคัดเลือกตัวแปรโดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของแต่ละตัวแปรอินพุตที่มีผลต่อแต่ละตัวแปรเอาต์พุตมากที่สุด ได้ตัวแปรอินพุตมาทั้งหมด 7 ตัวแปร

การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 เป็นการคัดเลือกตัวแปรโดยอาศัยกระบวนการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธีแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของแต่ละตัวแปรอินพุตที่เป็นกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบ และคัดเลือกตัวแทนกลุ่มที่มีผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมต่อแต่ละตัวแปรเอาต์พุตมากที่สุด ได้ตัวแปรอินพุตมาทั้งหมด 7 ตัวแปร

การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4 เป็นการนำเอาตัวแปรที่ได้จากในการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ กับการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 มารวมกัน ทำให้ได้ตัวแปรอินพุตมาทั้งหมด 20 ตัวแปร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบประสิทธิภาพของ การคัดเลือกตัวแปรกับโครงข่ายประสาทเทียม

บทนี้จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ และวิธีเปรียบเทียบทั้งหมดกับโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อบ่งบอกประสิทธิภาพในคำนวณค่าแรงดันปรับตั้งหน้าบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบ และจำนวนแท็บของหม้อแปลง OLTC ที่ได้ของแต่ละวิธีว่าวิธีใดทำให้ความแม่นยำดีที่สุด โดยการเปรียบเทียบจากผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Sum of Mean Absolute Percent Error, $\Sigma MAPE$) ที่น้อยที่สุดที่ทำการปรับแต่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้มีความเหมาะสมที่สุดกับการคัดเลือกตัวแปรในแต่ละวิธี

4.1 ขอบเขต และลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้

การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้กำหนดให้จำนวนรอบการเรียนรู้ (Epoch) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1000 รอบ และจำนวนชั้นซ่อนทั้งหมด 1 ชั้นซ่อน โดยให้จำนวนเซลล์ประสาท (Node) ในชั้นซ่อนมีการปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์ประสาทได้ตั้งแต่ 10 ถึง 20 เซลล์ประสาท และเพื่อทำให้ชนิด และโครงสร้างที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจากการกระจายการสุ่มค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบแอส จึงกำหนดให้มีจำนวนรอบของโครงสร้างนั้น ๆ รูปแบบละ 20 ครั้ง

ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในการทดสอบที่เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้นคือ Linear Function และชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไม่เป็นเชิงเส้นคือ Log-Sigmoid Function และ Tan-Sigmoid Function ที่มีขอบเขตของการตัดสินใจที่มีลักษณะแบบโค้งมน ทำให้สามารถทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความซับซ้อนได้ดี ดังนั้นขอบเขตการทดสอบของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตสามารถปรับเปลี่ยนได้ชั้นละ 3 ชนิด จึงทำให้ลักษณะของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในการทดสอบสามารถปรับเปลี่ยนได้ทั้งหมด 9 รูปแบบ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละครั้ง จะทำการเปรียบเทียบจากผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

$$\Sigma MAPE = \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \left| \frac{T_{ij} - O_{ij}}{T_{ij}} \right| \times 100\% \right) \quad (4.1)$$

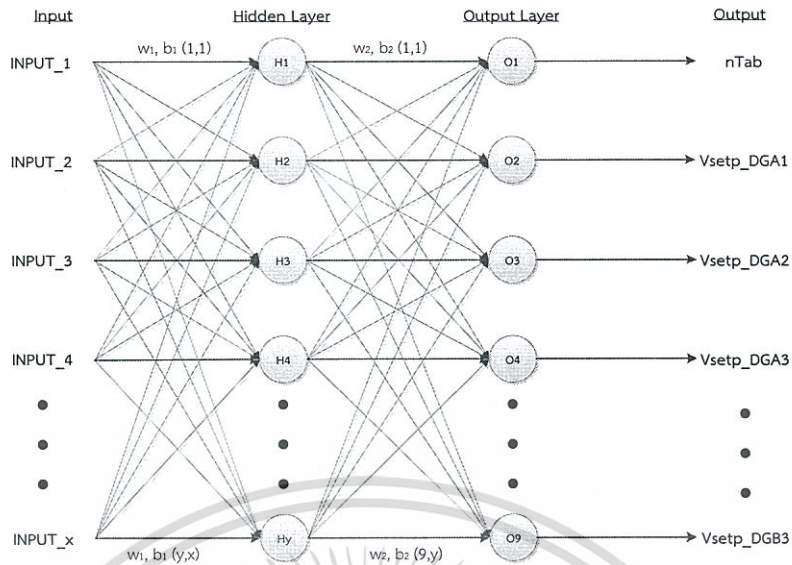
โดยที่ T_{ij} คือ ค่าเอาต์พุตค่าจริงของชุดทดสอบที่ i และค่าเอาต์พุตตัวที่ j ที่มาได้จากโปรแกรม DiGSILENT PowerFactory

O_{ij} คือ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากของโครงข่ายประสาทเทียมของชุดทดสอบที่ i และค่าเอาต์พุตตัวที่ j ตามลำดับ

s คือ จำนวนชุดทดสอบ (ในที่นี้ ชุดข้อมูลมี 1 $s = 371$)

m คือ จำนวนตัวเอาต์พุต (ในที่นี้ $m = 9$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดสอบที่จำนวนตัวแปร x อินพุต และ เซลล์ประสาทในชั้นซ่อน y ตัว

ลักษณะการจำลองรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สมมุติให้มี ตัวแปรอินพุตที่ได้จากการคัดเลือกตัวแปรในวิธีต่าง ๆ จำนวน x ตัว จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน y ตัว และค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณทั้งหมด สามารถจำลองได้เป็นดังในรูปที่ 4.1

4.2 ลักษณะของการแบ่งชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ

ชุดตัวแปรที่นำมาทดสอบได้มาจากวิธีการคัดเลือกตัวแปรในบทที่ 3 ทั้งจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ และการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบต่าง ๆ จากชุดข้อมูลที่ 1 รวมทั้งหมด 5 ชุด โดยที่ในแต่ละชุดตัวแปรจะมีจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด 1471 เหตุการณ์ที่ไม่ซ้ำกัน ซึ่งในการทำการทดสอบชุดข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของชุดฝึกสอน (~75%) และส่วนของชุดทดสอบ (~25%) เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมได้มีชุดข้อมูลในการทดสอบประสิทธิภาพ และนำมาเปรียบเทียบจากการฝึกสอนในแต่ละรอบได้

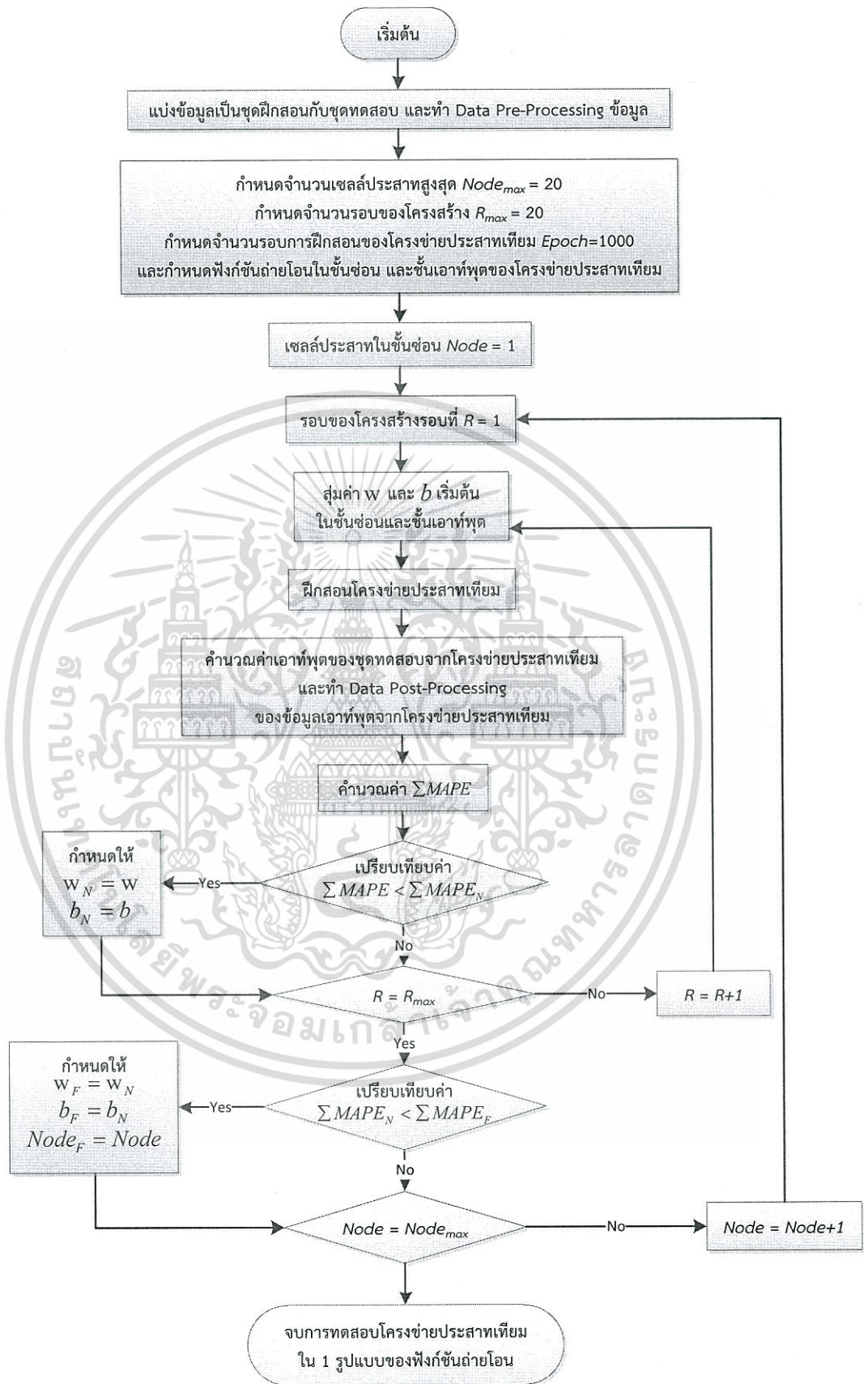
4.3 ลักษณะการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ทดสอบ

นำชุดตัวแปรที่ได้จากการคัดเลือกด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 5 วิธี มาทดสอบประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีรายละเอียด และขั้นตอนในการทดสอบชุดข้อมูลกับโครงข่ายประสาทเทียมใน 1 รูปแบบชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน พอสังเขบได้ดังนี้

1. ป้อนชุดตัวแปรที่จะใช้ทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียมลงในโปรแกรม MATLAB
2. แบ่งชุดข้อมูลเป็นชุดฝึกสอน และชุดทดสอบ (ในที่นี้ชุดข้อมูลที่ 1 จะถูกแบ่งออกได้เป็น 1100 : 371 เหตุการณ์)
3. ทำ Data Pre-Processing ชุดข้อมูลตามสมการที่ (2.18) ถึง (2.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนดจำนวนเซลล์ประสาทสูงสุด ($Node_{max}=20$) เพื่อปรับเปลี่ยนหาค่าโครงสร้างในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุด
5. กำหนดจำนวนรอบต่อโครงสร้างสูงสุด ($R_{max}=20$) เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนเริ่มต้น ที่จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพได้ดีที่สุด
6. กำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม
7. กำหนดจำนวนรอบของการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ($Epoch=1000$)
8. เริ่มวนรอบการหาจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน ($Node=1$)
9. เริ่มวนจำนวนรอบของโครงสร้าง ($R=1$)
10. สุ่มค่าถ่วงน้ำหนัก (w) และ ค่าเบี่ยงเบน (b) เริ่มต้น ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต
11. ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
12. ป้อนข้อมูลของชุดทดสอบให้โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณค่าเอาต์พุต
13. ทำ Data Post-Processing ค่าเอาต์พุตกลับ ตามสมการที่ (2.34) และ (2.35)
14. คำนวณค่าผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ ($\sum MAPE$) ตามสมการที่ (4.1)
15. เปรียบเทียบค่า $\sum MAPE$ กับค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ที่ดีที่สุดของจำนวนเซลล์ประสาท ($\sum MAPE_N$) ถ้าค่า $\sum MAPE$ มีค่าน้อยกว่า $\sum MAPE_N$ ให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ดีที่สุดของจำนวนเซลล์ประสาท (w_N) มีค่าเท่ากับ w และเบี่ยงเบนที่ดีที่สุดของจำนวนเซลล์ประสาท (b_N) มีค่าเท่ากับ b แต่ถ้า $\sum MAPE$ มีค่ามากกว่า $\sum MAPE_N$ ให้คงค่าที่เก็บไว้เหมือนเดิมทั้งหมด
16. ตรวจสอบจำนวนรอบของโครงสร้าง ถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำในข้อที่ 10. และกำหนดให้ $R = R + 1$
17. เปรียบเทียบค่า $\sum MAPE_N$ กับค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ที่ดีที่สุดของรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน ($\sum MAPE_F$) ถ้าค่า $\sum MAPE_N$ มีค่าน้อยกว่า $\sum MAPE_F$ ให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ดีที่สุดของรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน (w_F) มีค่าเท่ากับ w_N ค่าเบี่ยงเบนที่ดีที่สุดของรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน (b_F) มีค่าเท่ากับ b_N และค่าจำนวนเซลล์ประสาทที่ดีที่สุด ในชั้นซ่อนของรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน ($Node_F$) มีค่าเท่ากับ $Node$ ในรอบปัจจุบัน แต่ถ้า $\sum MAPE_N$ มีค่ามากกว่า $\sum MAPE_F$ ให้คงค่าที่เก็บไว้เหมือนเดิมทั้งหมด
18. ตรวจสอบจำนวนเซลล์ประสาท ถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำในข้อที่ 9. และกำหนดให้ $Node = Node + 1$
19. จบการทำงานของการทำงานรายละเอียดโครงสร้างใน 1 รูปแบบชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน การทำงานทั้งหมดที่ได้กล่าวมาสามารถนำมาอธิบายเป็นรูปแผนผังทำงานแบบทั้งหมดแบบพอสังเขปได้ตามในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อธิบายการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพในการทดสอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ชุดตัวแปรใน 1 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลที่ได้จากการทดสอบชุดตัวแปรของแต่ละวิธีกับโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ชุดตัวแปรที่มีวิธีการคัดเลือกที่แตกต่างกันของชุดข้อมูลที่ 1 ได้แสดงผลลงในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.5 โดยจะบอกรายละเอียดต่าง ๆ คือ ชนิดของโครงสร้างที่ใช้ในชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่เหมาะสมกับฟังก์ชันนั้น ๆ ผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ และผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของค่าเอาต์พุตแต่ละตัว ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ไม่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ

การทำโครงสร้างและชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมมากที่สุดของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ ได้ผลดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีการคัดเลือกที่นำเสนอ กับโครงข่ายประสาทเทียม

| ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน | | Node | ค่า MAPE รวม | ค่า MAPE ของเอาต์พุต (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------|--------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ชั้นซ่อน | ชั้นเอาต์พุต | | | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ |
| Linear | Linear | 11 | 41.9633 | 21.896 | 2.214 | 3.349 | 3.123 | 3.094 | 3.134 | 1.648 | 1.774 | 1.731 |
| Linear | Log-Sig | 12 | 34.3534 | 13.790 | 2.237 | 3.182 | 3.062 | 3.264 | 3.194 | 1.889 | 2.069 | 1.666 |
| Linear | Tan-Sig | 20 | 28.3089 | 9.167 | 2.145 | 3.112 | 2.822 | 2.867 | 2.940 | 1.635 | 1.865 | 1.757 |
| Log-Sig | Linear | 11 | 19.2949 | 9.258 | 1.099 | 2.532 | 0.919 | 1.008 | 2.060 | 0.681 | 0.960 | 0.776 |
| Log-Sig | Log-Sig | 16 | 33.1601 | 13.724 | 1.716 | 2.897 | 3.076 | 3.169 | 3.192 | 1.630 | 2.065 | 1.692 |
| Log-Sig | Tan-Sig | 18 | 17.7357 | 7.272 | 0.902 | 1.387 | 1.633 | 1.733 | 1.534 | 0.952 | 0.994 | 1.329 |
| Tan-Sig | Linear | 13 | 20.8460 | 8.542 | 1.693 | 1.630 | 1.664 | 1.654 | 1.410 | 1.198 | 1.757 | 1.299 |
| Tan-Sig | Log-Sig | 13 | 33.8251 | 14.072 | 1.844 | 2.971 | 3.034 | 3.141 | 3.192 | 1.648 | 2.208 | 1.714 |
| Tan-Sig | Tan-Sig | 14 | 16.2092 | 6.374 | 0.894 | 1.279 | 1.572 | 1.657 | 1.407 | 0.929 | 0.784 | 1.313 |

ค่าในตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้ในการทดสอบจากโครงข่ายประสาทเทียมของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ มีค่า MAPE รวมที่ดีที่สุดอยู่ที่ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid ในชั้นซ่อน และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid ในชั้นเอาต์พุต โดยที่จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ทำให้ค่าเอาต์พุตทั้งหมดดีที่สุดอยู่ที่ 14 เซลล์ประสาท มีค่าผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์อยู่ที่ 16.2092 ส่วนค่าที่มีผลค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของแต่ละตัวที่มากที่สุดอยู่ที่ค่าของจำนวนแท้ของหม้อแปลงที่มีค่าอยู่ที่ 6.374 %

4.4.2 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1

การทำโครงสร้างและชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมมากที่สุดของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1 ได้ผลดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 1 กับโครงข่ายประสาทเทียม

| ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน | | Node | ค่า MAPE รวม | ค่า MAPE ของเอาต์พุต (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------|--------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ชั้นซ่อน | ชั้นเอาต์พุต | | | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ |
| Linear | Linear | 15 | 37.4063 | 18.411 | 1.625 | 2.937 | 3.353 | 3.358 | 3.054 | 1.467 | 1.634 | 1.567 |
| Linear | Log-Sig | 12 | 35.9256 | 16.210 | 1.708 | 2.897 | 3.034 | 3.454 | 3.192 | 1.684 | 2.084 | 1.663 |
| Linear | Tan-Sig | 15 | 30.7921 | 11.885 | 1.585 | 2.925 | 3.370 | 3.325 | 3.017 | 1.473 | 1.644 | 1.568 |
| Log-Sig | Linear | 12 | 22.2758 | 12.702 | 0.919 | 1.448 | 1.200 | 1.168 | 1.165 | 0.941 | 1.776 | 0.956 |
| Log-Sig | Log-Sig | 19 | 32.8375 | 13.629 | 1.620 | 2.897 | 3.028 | 3.137 | 3.192 | 1.554 | 2.094 | 1.687 |
| Log-Sig | Tan-Sig | 14 | 18.2173 | 7.512 | 0.785 | 1.493 | 1.688 | 1.784 | 1.558 | 1.022 | 0.999 | 1.378 |
| Tan-Sig | Linear | 10 | 20.3665 | 10.863 | 1.003 | 1.502 | 0.992 | 0.999 | 1.213 | 0.965 | 1.769 | 1.060 |
| Tan-Sig | Log-Sig | 15 | 33.2830 | 14.252 | 1.474 | 2.884 | 3.028 | 3.172 | 3.192 | 1.536 | 2.084 | 1.661 |
| Tan-Sig | Tan-Sig | 13 | 19.3562 | 7.300 | 1.565 | 1.374 | 1.628 | 1.723 | 1.506 | 1.122 | 1.802 | 1.336 |

ค่าในตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้ในการทดสอบจากโครงข่ายประสาทเทียมของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 1 มีค่า MAPE รวมที่ดีที่สุดอยู่ที่ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid ในชั้นซ่อน และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid ในชั้นเอาต์พุต โดยที่จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ทำให้ค่าเอาต์พุตทั้งหมดดีที่สุดอยู่ที่ 14 เซลล์ประสาท มีค่าผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์อยู่ที่ 18.2173 ส่วนค่าที่มีผลค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของแต่ละตัวที่มากที่สุดอยู่ที่ค่าของจำนวนแท้ปของหม้อแปลงที่มีค่าอยู่ที่ 7.512 %

4.4.3 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2

การทำโครงสร้างและชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมมากที่สุดของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2 ได้ผลดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 2 กับโครงข่ายประสาทเทียม

| ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน | | Node | ค่า MAPE รวม | ค่า MAPE ของเอาต์พุต (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------|--------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ชั้นซ่อน | ชั้นเอาต์พุต | | | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ |
| Linear | Linear | 14 | 37.1458 | 18.211 | 1.685 | 2.968 | 3.268 | 3.229 | 2.989 | 1.503 | 1.703 | 1.589 |
| Linear | Log-Sig | 14 | 35.8364 | 15.899 | 1.765 | 2.895 | 3.119 | 3.328 | 3.206 | 1.844 | 2.110 | 1.670 |
| Linear | Tan-Sig | 17 | 30.5056 | 11.482 | 1.725 | 2.999 | 3.269 | 3.227 | 2.980 | 1.526 | 1.697 | 1.602 |
| Log-Sig | Linear | 16 | 18.0597 | 9.553 | 0.732 | 1.375 | 1.061 | 1.073 | 1.373 | 0.705 | 1.197 | 0.992 |
| Log-Sig | Log-Sig | 14 | 33.6615 | 14.003 | 1.808 | 2.897 | 3.096 | 3.255 | 3.193 | 1.619 | 2.113 | 1.676 |
| Log-Sig | Tan-Sig | 12 | 17.9542 | 7.470 | 0.826 | 1.328 | 1.661 | 1.810 | 1.523 | 0.966 | 0.994 | 1.377 |

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 2 กับโครงข่ายประสาทเทียม (ต่อ)

| ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน | | Node | ค่า MAPE รวม | ค่า MAPE ของเอาต์พุต (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------|--------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ชั้นซ่อน | ชั้นเอาต์พุต | | | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ |
| Tan-Sig | Linear | 14 | 19.6412 | 11.717 | 0.907 | 1.158 | 0.877 | 0.907 | 1.004 | 0.918 | 0.966 | 1.186 |
| Tan-Sig | Log-Sig | 16 | 33.8451 | 14.182 | 1.762 | 2.998 | 3.038 | 3.189 | 3.208 | 1.629 | 2.114 | 1.725 |
| Tan-Sig | Tan-Sig | 20 | 18.0404 | 7.640 | 0.832 | 1.305 | 1.633 | 1.776 | 1.492 | 0.948 | 1.066 | 1.347 |

ค่าในตารางที่ 4.3 แสดงผลที่ได้ในการทดสอบจากโครงข่ายประสาทเทียมของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 2 มีค่า MAPE รวมที่ดีที่สุดอยู่ที่ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid ในชั้นซ่อน และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid ในชั้นเอาต์พุต โดยที่จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ทำให้ค่าเอาต์พุตทั้งหมดดีที่สุดอยู่ที่ 12 เซลล์ประสาท มีค่าผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์อยู่ที่ 17.9542 ส่วนค่าที่มีผลค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของแต่ละตัวที่มากที่สุดอยู่ที่ค่าของจำนวนแท็บของหม้อแปลงที่มีค่าอยู่ที่ 7.470 %

4.4.4 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3

การหาโครงสร้างและชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมมากที่สุดของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 ได้ผลดังในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 3 กับโครงข่ายประสาทเทียม

| ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน | | Node | ค่า MAPE รวม | ค่า MAPE ของเอาต์พุต (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------|--------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ชั้นซ่อน | ชั้นเอาต์พุต | | | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ |
| Linear | Linear | 11 | 37.7166 | 18.312 | 1.787 | 2.992 | 3.351 | 3.351 | 3.032 | 1.525 | 1.766 | 1.601 |
| Linear | Log-Sig | 19 | 35.1161 | 14.814 | 1.806 | 3.080 | 3.276 | 3.372 | 3.234 | 1.749 | 2.114 | 1.672 |
| Linear | Tan-Sig | 14 | 30.0392 | 10.778 | 1.776 | 3.028 | 3.340 | 3.270 | 3.007 | 1.512 | 1.746 | 1.582 |
| Log-Sig | Linear | 10 | 23.7414 | 8.194 | 1.504 | 2.187 | 2.337 | 2.394 | 2.161 | 1.359 | 2.043 | 1.562 |
| Log-Sig | Log-Sig | 12 | 33.4983 | 13.941 | 1.633 | 2.944 | 3.148 | 3.179 | 3.228 | 1.638 | 2.088 | 1.698 |
| Log-Sig | Tan-Sig | 16 | 21.9334 | 7.278 | 1.652 | 1.982 | 2.273 | 2.340 | 2.069 | 1.365 | 1.457 | 1.519 |
| Tan-Sig | Linear | 17 | 23.0528 | 10.567 | 1.289 | 1.537 | 2.053 | 2.067 | 1.689 | 1.155 | 1.378 | 1.318 |
| Tan-Sig | Log-Sig | 20 | 34.2702 | 14.118 | 1.781 | 2.975 | 3.123 | 3.398 | 3.315 | 1.651 | 2.190 | 1.719 |
| Tan-Sig | Tan-Sig | 14 | 22.1959 | 7.773 | 1.387 | 1.888 | 2.200 | 2.281 | 2.037 | 1.334 | 1.783 | 1.513 |

ค่าในตารางที่ 4.4 แสดงผลที่ได้ในการทดสอบจากโครงข่ายประสาทเทียมของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 มีค่า MAPE รวมที่ดีที่สุดอยู่ที่ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid ในชั้นซ่อน และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid ในชั้นเอาต์พุต โดยที่จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ทำให้ค่าเอาต์พุตทั้งหมดดีที่สุดอยู่ที่ 16 เซลล์ประสาท มีค่าผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์อยู่ที่ 21.9334 ส่วนค่าที่มีผลค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของแต่ละตัวที่มากที่สุดอยู่ที่ค่าของจำนวนแท่งของหม้อแปลงที่มีค่าอยู่ที่ 7.278 %

4.4.5 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมจากการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4

การหาโครงสร้างและชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมมากที่สุดของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4 ได้ผลดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบชุดตัวแปรจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบที่ 4 กับโครงข่ายประสาทเทียม

| ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน | | Node | ค่า MAPE รวม | ค่า MAPE ของเอาต์พุต (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------|--------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ชั้นซ่อน | ชั้นเอาต์พุต | | | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ |
| Linear | Linear | 11 | 41.1222 | 21.409 | 2.277 | 3.112 | 2.994 | 2.960 | 2.947 | 1.628 | 2.106 | 1.688 |
| Linear | Log-Sig | 16 | 35.0955 | 14.353 | 2.373 | 3.088 | 3.088 | 3.250 | 3.195 | 1.953 | 2.116 | 1.680 |
| Linear | Tan-Sig | 16 | 29.1626 | 9.586 | 2.159 | 3.222 | 2.973 | 2.862 | 2.993 | 1.680 | 1.920 | 1.767 |
| Log-Sig | Linear | 10 | 19.0024 | 9.933 | 1.374 | 1.191 | 1.087 | 1.010 | 0.825 | 1.026 | 1.200 | 1.356 |
| Log-Sig | Log-Sig | 16 | 33.8596 | 13.944 | 1.862 | 3.051 | 3.107 | 3.239 | 3.192 | 1.611 | 2.146 | 1.706 |
| Log-Sig | Tan-Sig | 15 | 17.9351 | 7.427 | 0.978 | 1.426 | 1.599 | 1.685 | 1.545 | 0.934 | 0.976 | 1.364 |
| Tan-Sig | Linear | 11 | 20.1870 | 10.171 | 1.021 | 1.031 | 1.415 | 1.377 | 1.366 | 0.937 | 1.446 | 1.424 |
| Tan-Sig | Log-Sig | 12 | 33.8435 | 13.847 | 2.096 | 2.906 | 3.173 | 3.255 | 3.193 | 1.618 | 2.078 | 1.677 |
| Tan-Sig | Tan-Sig | 10 | 16.8589 | 6.429 | 0.835 | 1.202 | 1.836 | 1.858 | 1.533 | 0.960 | 0.854 | 1.351 |

ค่าในตารางที่ 4.5 แสดงผลที่ได้ในการทดสอบจากโครงข่ายประสาทเทียมของการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 4 มีค่า MAPE รวมที่ดีที่สุดอยู่ที่ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid ในชั้นซ่อน และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid ในชั้นเอาต์พุต โดยที่จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ทำให้ค่าเอาต์พุตทั้งหมดดีที่สุดอยู่ที่ 10 เซลล์ประสาท มีค่าผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์อยู่ที่ 16.8588 ส่วนค่าที่มีผลค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของแต่ละตัวที่มากที่สุดอยู่ที่ค่าของจำนวนแท่งของหม้อแปลงที่มีค่าอยู่ที่ 6.429 %

4.5 สรุปผลการทดสอบที่ได้ทั้งหมด และสมมุติฐานของค่าความผิดพลาด

จากการทดสอบชุดตัวแปรที่ได้จากการคัดเลือกตัวแปรในแต่ละวิธีกับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการปรับเพื่อหาโครงสร้าง และชนิดที่มีความเหมาะสมกับแต่ละชุดตัวแปรให้มากที่สุด จะสามารถนำผลที่ดีที่สุดในแต่ละชุดตัวแปรของชุดข้อมูลที่ 1 มาแสดงลงในตารางสรุปการเปรียบเทียบได้ใหม่ดังในตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 สรุปการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ดีที่สุดของแต่ละวิธีการคัดเลือกชุดตัวแปร

| การคัดเลือก ตัวแปรด้วยวิธี | Transfer Function | | จำนวนเซลล์ ประสาทในชั้น ซ่อน | $\sum MAPE$ |
|-------------------------------|-------------------|--------------|------------------------------------|-------------|
| | Hidden Layer | Output Layer | | |
| ที่นำเสนอ | Tan-sigmoid | Tan-sigmoid | 14 | 16.2092 |
| เปรียบเทียบที่ 1 | Log-sigmoid | Tan-sigmoid | 14 | 18.2172 |
| เปรียบเทียบที่ 2 | Log-sigmoid | Tan-sigmoid | 12 | 17.9541 |
| เปรียบเทียบที่ 3 | Log-sigmoid | Tan-sigmoid | 16 | 21.9333 |
| เปรียบเทียบที่ 4 | Tan-sigmoid | Tan-sigmoid | 10 | 16.8588 |

ตารางที่ 4.6 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่า $\sum MAPE$ ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 16.2092 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid ในชั้นซ่อนกับ Tan-sigmoid ในชั้นเอาต์พุต และมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนทั้งหมด 14 เซลล์ประสาท ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การใช้ชุดตัวแปรที่ได้จากการคัดเลือกของตัวแปรมีการรวมความเกี่ยวพันกับผลกระทบของตัวแปรอื่น ๆ ในระบบเอาไว้แล้วอย่างไรในการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอ คือการใช้เพียงตัวแปรกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง มาทำการคัดเลือกตัวแปรโดยอาศัยกระบวนการจัดกลุ่มด้วยวิธีแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน และคัดเลือกตัวแทนกลุ่มที่มีผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของแต่ละตัวแปรมากที่สุดมาใช้ทดสอบกับโครงข่ายประสาทเทียม ทำให้ค่าผลรวมของค่าร้อยละผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์มีค่าน้อยที่สุด

สมมุติฐานสาเหตุของค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของค่าจำนวนแท็บหม้อแปลง OLTC ที่มีค่าค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ค่าแรงดันปรับตั้งของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบ เนื่องจากค่าจำนวนแท็บของหม้อแปลง OLTC ที่คำนวณได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคเป็นค่าทศนิยม แต่ค่าที่ใช้ในโปรแกรมจะถูกปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม (มีระยะความถูกต้องที่กว้าง) ค่าที่เก็บมาจึงมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการปัดเศษทศนิยม (Round-off Error) ของหม้อแปลง OLTC ทำให้ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำที่กว้างในช่วงทศนิยม ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์จึงมีค่ามากตามมาเช่นกัน

ผลการทดสอบการควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ในบทนี้จะนำค่าควบคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันเฉพาะในส่วนข้อมูลทดสอบของชุดข้อมูลที่ 1 และค่าควบคุมได้จากโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันในชุดข้อมูลที่ 2 ทั้งหมด ของโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันที่ดีที่สุดจากการคัดเลือกตัวแปรของแต่ละวิธี นำมาใช้ควบคุมแรงดันในระบบไฟฟ้าผ่านการคำนวณ Load Flow ด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory เพื่อเปรียบเทียบว่าค่าควบคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันของวิธีใด ที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันอ้างอิงมากที่สุด

5.1 เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าควบคุมแรงดัน

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบโดยปกติจะควบคุมโดยการปรับตั้ง หรือคงค่าให้แรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมให้มีค่าเท่ากับแรงดันอ้างอิงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นเหตุให้แรงดันในบัสอื่น ๆ ที่ไม่มีตัวควบคุมอาจมีค่าแรงดันอยู่ในจุดที่นอกเหนือจากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด จึงต้องมีการปรับตั้งค่าควบคุมหน้าบัสของตัวควบคุมต่าง ๆ ที่ต่ออยู่ในระบบให้เป็นไปอย่างเหมาะสม เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าในบัสอื่น ๆ มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และเข้าใกล้กับค่าอ้างอิงมากที่สุด

ดังนั้นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบค่าควบคุมแรงดันที่ได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันในแต่ละชุดตัวแปรของการคัดเลือกในแต่ละวิธีคือ ผลรวมของค่าการเบี่ยงเบนแรงดันออกจากแรงดันอ้างอิง (Total Voltage Deviation : TVD) มีค่าน้อยที่สุด (ในที่นี้ค่าแรงดันอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 1 p.u.) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$TVD = \sum_{i=1}^s \left(\sum_{k=1}^{N_{bus}} |V_{ki} - 1| \right) \quad (5.1)$$

| | | |
|--------|-----------|---|
| โดยที่ | V_k | คือ ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในบัสที่ k (p.u.) |
| | N_{bus} | คือ จำนวนของบัสทั้งหมดในระบบไฟฟ้า (ในที่นี้ $N_{bus} = 44$) |
| | s | คือ จำนวนชุดทดสอบ (ในที่นี้ ชุดข้อมูลที่ 1 $s = 371$ และชุดข้อมูลที่ 2 $s = 1000$) |

เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้มีลักษณะการต่อแบบเรเดียล จึงมักประสบปัญหาของแรงดันตกที่ปลายสายส่ง ดังนั้นลักษณะของตัวอย่างแรงดันที่ได้จากการควบคุมจากวิธีต่าง ๆ จะแสดงเป็นกราฟแรงดันของบัสที่อยู่ปลายสายป้อนของแต่ละฝั่ง คือที่บัส A21 และ B23

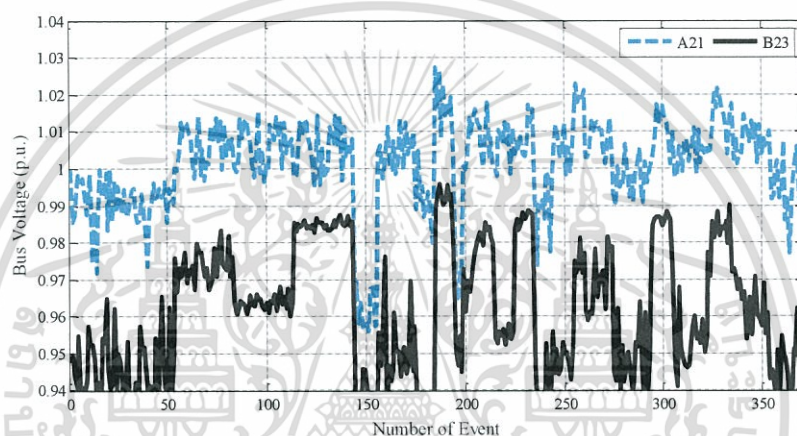
5.2 ผลการทดสอบค่าควบคุมแรงดัน

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดสอบของค่าควบคุมแรงดันจากเกณฑ์ในข้างต้นคือ 1.วิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของตัวอุปกรณ์ควบคุมในระบบ 2.กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่ม
 เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยพลังงานจันทบุรี หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ โทร. 039-310000 หรือ 039-310001 ในวันและเวลาราชการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาค และ 3.การคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำเสนอ และวิธีเปรียบเทียบบีก 4 วิธี โดยที่ผลการทดสอบจากแต่ละวิธี สามารถแสดงได้ในหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

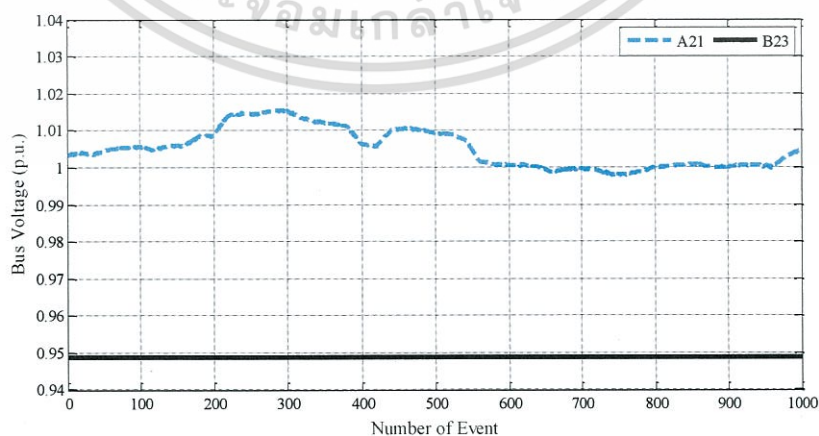
5.2.1 การควบคุมแรงดันจากวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบ

เป็นการตั้งให้แรงดันปรับตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่แบบกระจายในระบบมีค่าเท่ากับ 1 p.u. เพื่อให้ตัวควบคุมแรงดันพยายามทำให้ค่าแรงดันที่หน้าบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับค่าแรงดันอ้างอิง และในส่วนแท็บของหม้อแปลงก็จะปรับตำแหน่งแท็บให้ค่าแรงดันที่บัสควบคุมมีค่าเท่ากับแรงดันอ้างอิงเช่นกันในทุกเหตุการณ์ ซึ่งผลของลักษณะแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีการนี้ของชุดข้อมูลที่ 1 และชุดข้อมูลที่ 2 สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบ ของชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 5.1 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส B23 มีค่าแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดรวมทั้งหมด 203 เหตุการณ์ และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 183.4323



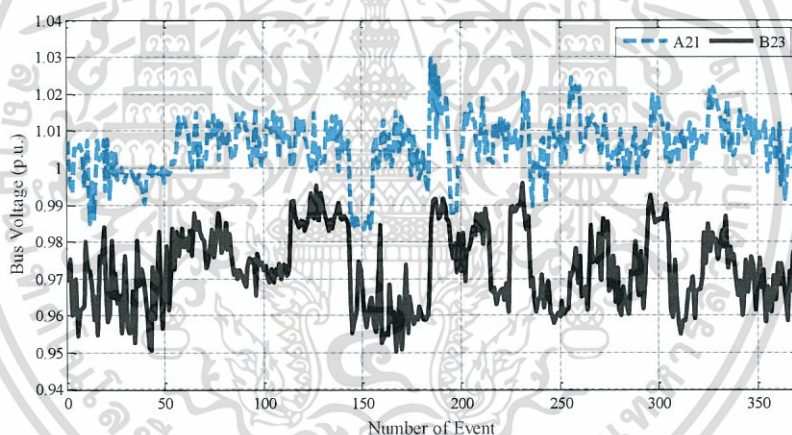
รูปที่ 5.2 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบ ของชุดข้อมูลที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งมีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส B23 มีค่าแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดทุกเหตุการณ์คือ ทั้งหมด 1000 เหตุการณ์ และมีค่า TVD ที่คำนวณได้เท่ากับ 421.961

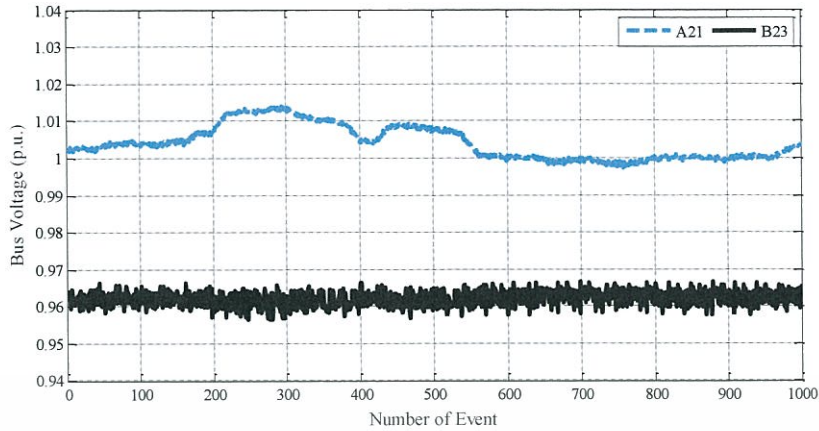
5.2.2 การควบคุมแรงดันจากค่าที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

เป็นการตั้งค่าควบคุมให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคในทุกเหตุการณ์ โดยวิธีนี้จะนำค่าควบคุมแรงดันมาใช้เป็นต้นแบบในการฝึกสอน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มาจากการคัดเลือกตัวแปรในรูปแบบต่าง ๆ เท่านั้น ไม่สามารถนำวิธีนี้ไปใช้หาค่าควบคุมแรงดันในระบบแบบ Real-Time ได้ เหมือนกับการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากในกระบวนการต้องรับค่าของอุปกรณ์ทุกตัวเข้ามาประมวลผล และการประมวลผลต้องใช้เวลาในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด การนำไปใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของอุปกรณ์อยู่ตลอดเวลาจึงไม่เหมาะสม ซึ่งผลของลักษณะแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีการนี้ของชุดข้อมูลที่ 1 และชุดข้อมูลที่ 2 สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ของชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 5.3 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 1 ซึ่งไม่มีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และมีค่า TVD ที่คำนวณได้เท่ากับ 129.1193



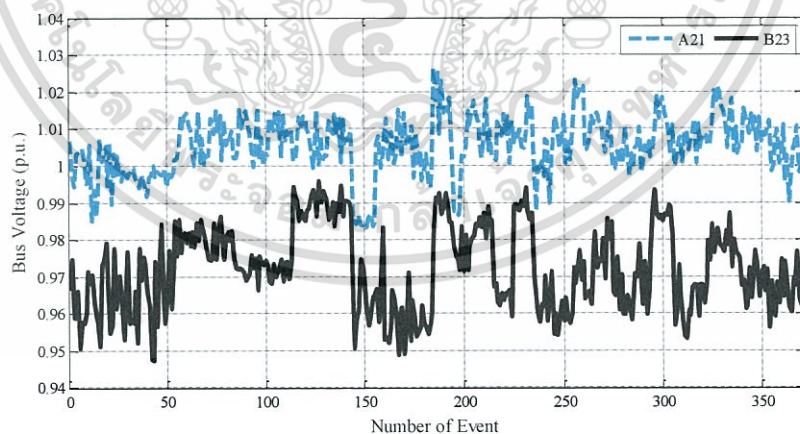
รูปที่ 5.4 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากกระบวนการหาที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ของชุดข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 5.4 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งไม่มีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และมีค่า TVD ที่คำนวณได้เท่ากับ 325.773

5.2.3 การควบคุมแรงดันจากค่าที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

5.2.3.1 วิธีการคัดเลือกตัวแปรที่น่าเสนอ

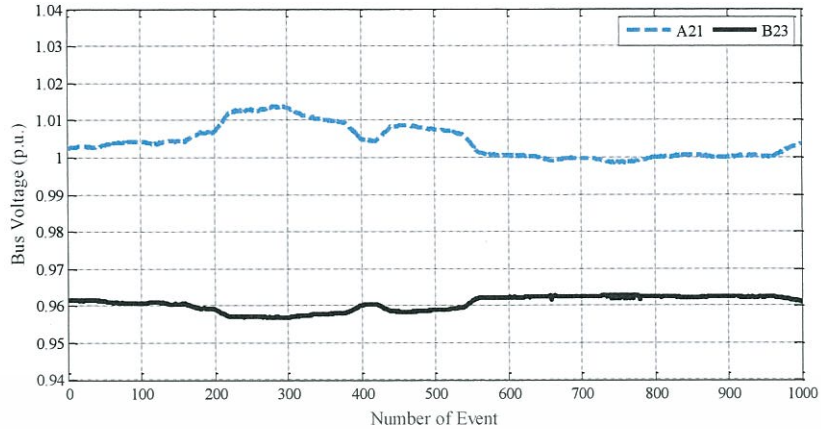
เป็นการตั้งค่าควบคุมให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่หาได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีที่น่าเสนอในทุกเหตุการณ์ ซึ่งผลของลักษณะแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีการนี้ของชุดข้อมูลที่ 1 และชุดข้อมูลที่ 2 สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจากโครงข่ายประสาทเทียมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีที่น่าเสนอ ของชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 5.5 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส B23 มีค่าแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดในเหตุการณ์ที่ 42, 43, 167, 170 รวมทั้งหมด 4 เหตุการณ์ และค่า TVD ที่คำนวณได้เท่ากับ 129.5252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

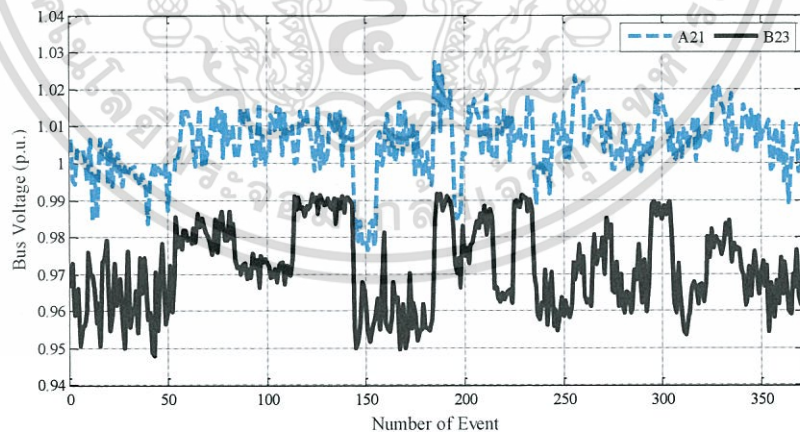


รูปที่ 5.6 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ ของชุดข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 5.6 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งไม่มีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 333.8999

5.2.3.2 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 1

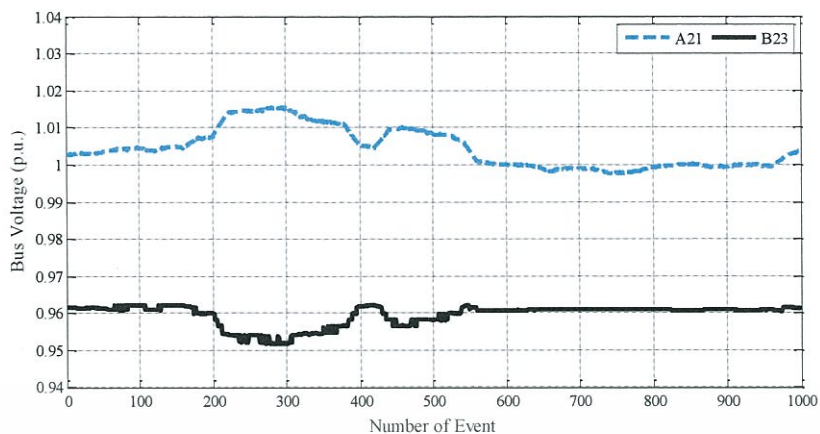
เป็นการตั้งค่าควบคุมให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่หาได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันโดยใช้ชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 1 ในทุกเหตุการณ์ ซึ่งผลของลักษณะแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีการนี้ของชุดข้อมูลที่ 1 และชุดข้อมูลที่ 2 สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ



รูปที่ 5.7 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 1 ของชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 5.7 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส B23 มีค่าแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดในเหตุการณ์ที่ 42, 43, 145, 167, 170 รวมทั้งหมด 5 เหตุการณ์ และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 130.8578

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

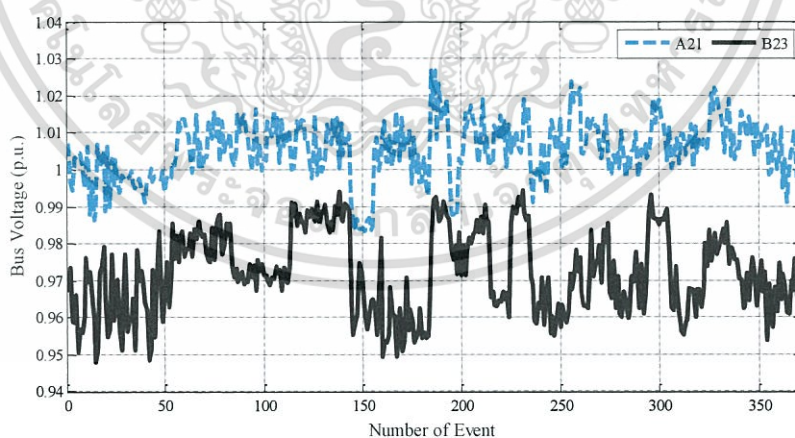


รูปที่ 5.8 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทยืดด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 1 ของชุดข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 5.8 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งไม่มีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 342.0489

5.2.3.3 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 2

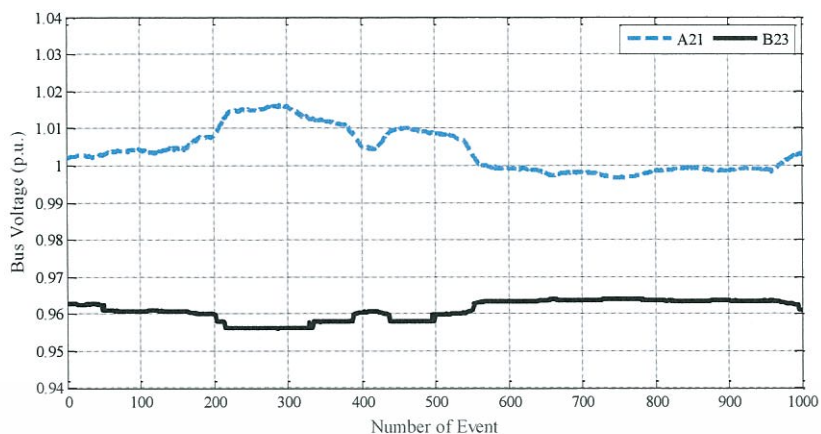
เป็นการตั้งค่าควบคุมให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่หาได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทยืดโดยใช้ชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 2 ในทุกเหตุการณ์ ซึ่งผลของลักษณะแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีการนี้ของชุดข้อมูลที่ 1 และชุดข้อมูลที่ 2 สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทยืดด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 2 ของชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 5.9 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส B23 มีค่าแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดในเหตุการณ์ที่ 15, 42, 160, 167 รวมทั้งหมด 4 เหตุการณ์ และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 130.2208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

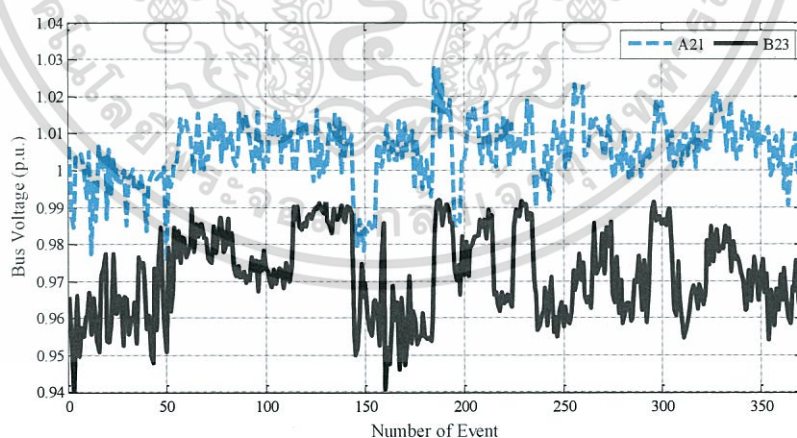


รูปที่ 5.10 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทยืดด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 2 ของชุดข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 5.10 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งไม่มีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 341.6287

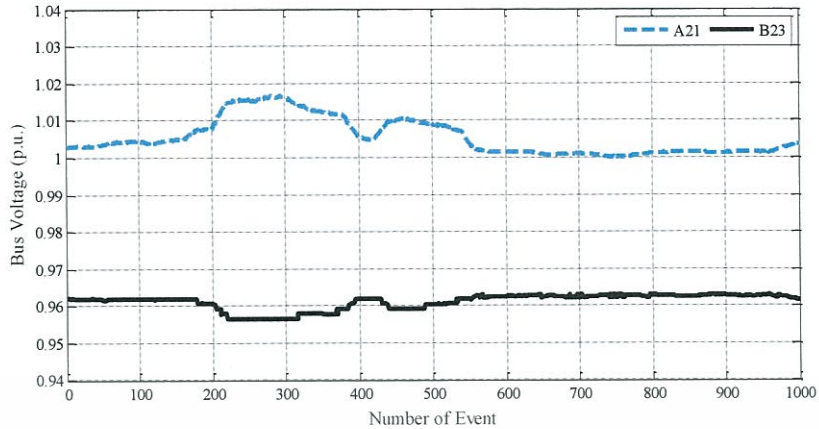
5.2.3.4 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 3

เป็นการตั้งค่าควบคุมให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่หาได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทยืดโดยใช้ชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 3 ในทุกเหตุการณ์ ซึ่งผลของลักษณะแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีการนี้ของชุดข้อมูลที่ 1 และชุดข้อมูลที่ 2 สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทยืดด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 3 ของชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 5.11 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส B23 มีค่าแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดในเหตุการณ์ที่ 3, 6, 42, 43, 145, 160, 162, 167, 170 รวมทั้งหมด 9 เหตุการณ์ และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 133.2747

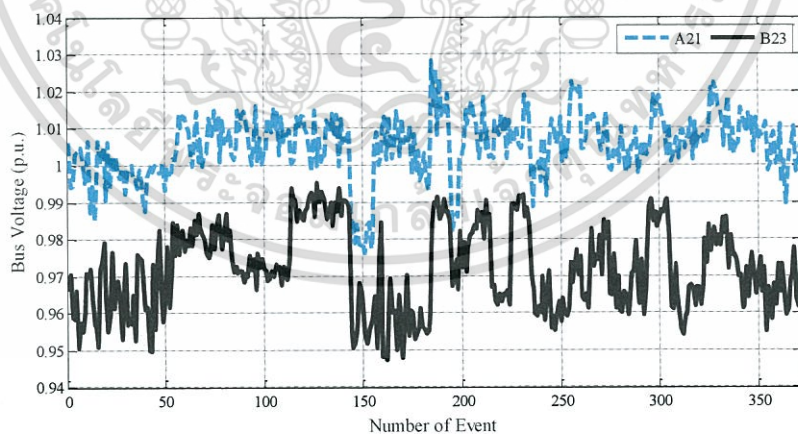


รูปที่ 5.12 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทย้อมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 3 ของชุดข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 5.12 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งไม่มีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ 361.8369

5.2.3.5 วิธีการคัดเลือกตัวแปรวิธีเปรียบเทียบที่ 4

เป็นการตั้งค่าควบคุมให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่หาได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทย้อมโดยใช้ชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 4 ในทุกเหตุการณ์ ซึ่งผลของลักษณะแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีการนี้ของชุดข้อมูลที่ 1 และชุดข้อมูลที่ 2 สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ

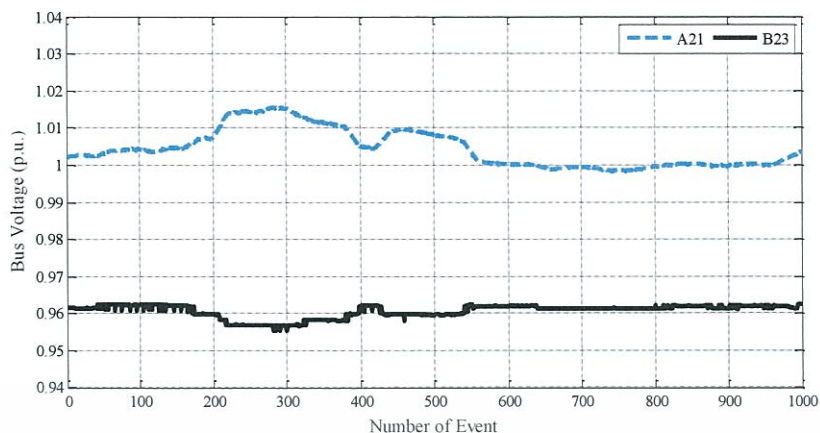


รูปที่ 5.13 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทย้อมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 4 ของชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 5.13 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส B23 มีค่าแรงดันต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดในเหตุการณ์ที่ 42, 43, 160, 161, 162, 167, 170 รวมทั้งหมด 7 เหตุการณ์ และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้เท่ากับ

130.9559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ค่าแรงดันบัสที่ A21 กับ B23 ของวิธีการควบคุมแรงดันจาก
โครงข่ายประสาทย้อมด้วยชุดตัวแปรที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 4 ของชุดข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 5.14 เป็นการควบคุมแรงดันของชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งไม่มีเหตุการณ์ที่
แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และค่ามี *TVD* ที่คำนวณได้
เท่ากับ 338.0746

5.3 สรุปผลการทดสอบค่าควบคุมแรงดันของวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบการทดสอบค่าควบคุมแรงดันของวิธีต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 1

| ค่าควบคุมที่ได้จากวิธี | ค่า <i>TVD</i> | จำนวนเหตุการณ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย มีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด |
|--|----------------|--|
| คงค่าแรงดันหน้าบัส ของอุปกรณ์ควบคุม | 183.4323 | 203 |
| PSO | 129.1193 | 0 |
| ที่นำเสนอ | 129.5252 | 4 |
| เปรียบเทียบที่ 1 | 130.8578 | 5 |
| เปรียบเทียบที่ 2 | 130.2208 | 4 |
| เปรียบเทียบที่ 3 | 133.2747 | 9 |
| เปรียบเทียบที่ 4 | 130.9559 | 7 |

จากตารางที่ 5.1 การควบคุมแรงดันในระบบด้วยค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทย้อมด้วย
วิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำเสนอ สามารถรักษาระดับแรงดันเหตุการณ์ต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 1 ได้
ใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิงมากที่สุด โดยมีจำนวนเหตุการณ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายมีค่าอยู่
นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดอยู่ 4 เหตุการณ์ เท่ากับค่าควบคุมที่ได้จากวิธีเปรียบเทียบที่ 2
แต่มีค่ามีค่า *TVD* ที่ดีกว่า คือมีค่าเท่ากับ 129.5252 ซึ่งใกล้เคียงกับการควบคุมแรงดันจากค่าที่ได้จาก
กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค(PSO) ที่มีค่า *TVD* เท่ากับ 129.1193
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และดีกว่าค่าที่ได้จากการควบคุมแรงดันในระบบด้วยวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบที่มีค่า *TVD* เท่ากับ 183.4323

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบการทดสอบค่าควบคุมแรงดันของวิธีต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 2

| ค่าควบคุมที่ได้จากวิธี | ค่า <i>TVD</i> | จำนวนเหตุการณ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายมีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด |
|------------------------------------|----------------|--|
| คงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุม | 421.9610 | 1000 |
| PSO | 325.7730 | 0 |
| ที่นำเสนอ | 333.8999 | 0 |
| เปรียบเทียบที่ 1 | 342.0489 | 0 |
| เปรียบเทียบที่ 2 | 341.6287 | 0 |
| เปรียบเทียบที่ 3 | 361.8369 | 0 |
| เปรียบเทียบที่ 4 | 338.0746 | 0 |

จากตารางที่ 5.2 การควบคุมแรงดันในระบบด้วยค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำเสนอ ให้แรงดันในระบบของเหตุการณ์ต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ 2 โดยรวมมีค่าที่ใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิงมากที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีเปรียบเทียบอื่น ๆ และไม่มีจำนวนเหตุการณ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายมีค่าอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยมีค่า *TVD* เท่ากับ 333.8999 ซึ่งใกล้เคียงกับการควบคุมแรงดันจากค่าที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค(PSO) ที่มีค่า *TVD* เท่ากับ 325.7730 และดีกว่าค่าที่ได้จากการควบคุมแรงดันในระบบด้วยวิธีการคงค่าแรงดันหน้าบัสของอุปกรณ์ควบคุมในระบบที่มีค่า *TVD* เท่ากับ 421.9610

จากตารางสรุปการเปรียบเทียบการทดสอบค่าควบคุมแรงดันในตารางที่ 5.1 และ 5.2 สามารถสรุปได้ว่า ค่าควบคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการคัดเลือกตัวแปรจากวิธีที่นำเสนอทำให้ค่าแรงดันในระบบของเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยรวมมีค่าดีที่สุด และใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาคมากที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่มีมากในระบบไฟฟ้า ด้วยการจัดกลุ่มแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรที่มีการรวมกันของผลกระทบกับตัวแปรอื่น ๆ ในระบบ (ค่ากำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง) มาใช้ฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมและนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ไปทดสอบการควบคุมแรงดันกับเหตุการณ์ต่าง ๆ ในระบบ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำมาใช้เปรียบเทียบกับอื่น ๆ ในวิทยานิพนธ์ คือ 1.วิธีการคัดเลือกตัวแปรโดยอาศัยประสบการณ์จากผู้ทำวิจัย 2.วิธีการคัดเลือกตัวแปรมาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรในระบบที่มากที่สุดกับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัว 3.วิธีการคัดเลือกตัวแปรด้วยการจัดกลุ่มแบบ K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรที่ไม่มีการรวมกันของผลกระทบกับตัวแปรอื่น ๆ ในระบบ (ค่าของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบ) และ 4. วิธีการคัดเลือกตัวแปรจากการนำตัวแปรของวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำเสนอเกี่ยวกับตัวแปรของวิธีเปรียบเทียบกับที่ 3 มารวมกัน ซึ่งได้ผลสรุปดังนี้

- การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถลดจำนวนตัวแปรในระบบไฟฟ้าได้เหลือเพียง 13 ตัวแปร จากจำนวนตัวแปรที่มีอยู่ในระบบทั้งหมด 127 ตัวแปร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10.2362 ของจำนวนตัวแปรทั้งหมด
- การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยตัวแปรที่ได้จากวิธีการคัดเลือกที่นำเสนอของชุดข้อมูลที่ 1 มีประสิทธิภาพในการคำนวณค่าควบคุมคิดเป็นค่า *MAPE* รวมของชุดทดสอบเทียบกับที่ได้จากวิธีหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาคคิดเป็นร้อยละ 16.2092 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่า *MAPE* ที่ได้จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำมาเปรียบเทียบกับอื่น ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้
- การทดสอบค่าควบคุมแรงดันที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำเสนอเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่าง ๆ ให้ผลลัพธ์ของรูปแบบแรงดันได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่นำมาเปรียบเทียบกับอื่น ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ ทั้งใน 2 ชุดข้อมูลคือ มีค่า *TVD* ของชุดข้อมูลที่ 1 เท่ากับ 129.5252 และชุดข้อมูลที่ 2 เท่ากับ 333.8999 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าควบคุมที่ได้จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค

ดังนั้นการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีการที่นำเสนอ จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้กับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีตัวแปรจำนวนมากให้เหลือตัวแปรเท่าที่จำเป็น เพื่อนำไปสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการนำไปใช้คำนวณค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการพัฒนาในการศึกษาเพื่อทำการวิจัย หรือนำไปใช้ในการพัฒนาต่อไป

1. การคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-mean อาจนำไปใช้ร่วมกับการทำการจัดกลุ่มด้วยค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) ที่มีผลต่อตัวแปรที่มีปัญหา หรือสนใจในระบบ
2. ในการนำไปใช้ในการใช้งานจริง อาจจะมีการเพิ่มขึ้นของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ได้ผลที่มีความแม่นยำมากขึ้น
3. นำเอาวิธีการคัดเลือกตัวแปรไปใช้คัดเลือกตัวแปรในระบบในสถานการณ์อื่น ๆ เช่น การเกิดฟอลต์ (Fault) ในระบบ เป็นต้น
4. อาจเพิ่มฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการทำ PSO โดยให้คำนึงถึงค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch)



เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์บริการวิชาการสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. (2549). การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะยาวของประเทศ. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. [Online]. Available : <http://www2.eppo.go.th/load/nida/thai/contents.html>.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). การพยากรณ์ความต้องการทางไฟฟ้า . [Online]. Available: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/energyinformation/analyte/forecast>.
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ. 2558-2579 (แผน PDP) (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : สำนักงาน. [Online]. Available: <http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/PDP2015.pdf>.
- [4] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2558). นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจาก SPP และ VSPP พลังงานหมุนเวียน. [Online]. Available: http://www.ppa.egat.co.th/sppx/images/SPP_Document/Announcement/Other/Conclude.pdf.
- [5] International Energy Agency. (2014). Renewable Energy Medium-Term Market Report 2014. France, Paris: International Energy Agency [Online]. Available: <http://www.iea.org/Textbase/npsum/Mtrenew2014sum.pdf>.
- [6] Global Wind Energy Council. (2015). GWEC Global Wind Statistics 2015. [Online]. Available : <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/#>.
- [7] Atwa, Y. M., El-Saadany, E. F. and Guise. "Supply Adequacy Assessment of Distribution System Including Wind-Based DG During Different Modes of Operation," IEEE Transactions on Power System, 1 (5): 78 - 86. 2010.
- [8] Lawrence Berkeley National Lab. (2011). Installed Cost of Solar Photovoltaic Systems in the U.S. Declined Significantly in 2010 and 2011. [Online]. Available: <http://newscenter.lbl.gov/news-releases/2011/09/15/tracking-the-sun-iv>.
- [9] E. Lantz and M. Hand, R. Wiser. "The Past and Future Cost of Wind Energy," National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP-6A20-54526., p. 4, May 2012.
- [10] Mohod, S.W. and Aware. "Wind Energy Conversion System Simulator using Variable Speed Induction Motor." Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), pp. 1 - 6, Dec. 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Muller S. Deicke M. and De Doncker R. W.. "Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 8 no. 3, pp. 26 - 33, 2002.
- [12] Nayan N. Pandya, Hemant I. Joshi and Bhavik N. Suthar. "Identification of Weak Bus and Voltage Stability Enhancement." *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, Vol. 2, no. 4, pp. 1374 – 1377, April 2014.
- [13] Allan C. Nerves, Froilan J. Savet. "Voltage and Reactive-Power Control Optimization in a Distribution System." *TENCON 2006*, pp. 1 - 4, 2006.
- [14] B. Das, P. K. Verma. "Artificial Neural Network-Based Optimal Capacitor Switching in a Distribution System." *International Journal of Electric Power Systems Research*, vol. 60, pp. 55-62, December 2001.
- [15] M. J. Hossain, H. R. Pota, R. A. Ramos. "Improved low-voltage-ride-through capability of fixed-speed wind turbines using decentralised control of STATCOM with energy storage system." *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 6, no. 8, pp. 719 - 730, 2012.
- [16] F. Jiang, S.K. Salman, V. Elaveeti, R. Gupta. "Improvement of automatic voltage control of on load tap changer transformer in a distribution system with embedded generators." *UPEC Meeting*, Swansea, UK, September, 2001.
- [17] R. O’Gorman, M. Redfern. "The impact of distributed generation on voltage control in distribution systems." *CIREC Meeting*, Torino, Italy, June, 2005.
- [18] Ferry August Viawan. *Voltage Control and Voltage Stability of Power Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation*. Division of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden, 2008.
- [19] S. Sumathi, Bansital. "Artificial neural network application for voltage control and power flow control in power systems with UPFC." *ICERECT*, pp. 403 – 407, 2015.
- [20] ชาญชุลิต อินทสุก. "การทำนายความต้องการพลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบอนุमानพีชชีโครงข่ายประต้วได้." *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2558.

- [21] สามารถ เฝ็งเหลา, “การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นโดยใช้วิธีข่ายงานระบบประสาทร่วมกับวิธีกลุ่มอนุภาค”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- [22] สมชาติ จิรวิภากร. การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในระบบไฟฟ้ากำลัง. ครั้งที่1, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.
- [23] Soliman S., Mantawy A.H. and Hassan A.A.. *Modern Optimization Techniques with Applications in Electric Power Systems*, London, Springer New York Heidelberg Dordrecht, 2010
- [24] Zhang, W. and Liu, Y. “Reactive Power Optimization Based on PSO in a Practical Power System.” In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 239-243, 2004.
- [25] Xin-She Yang, *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*, University of Cambridge, Department of Engineering, 2010.
- [26] Kennedy J. and Eberhart R. C. "Particle Swarm Optimization." In Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, 1995.
- [27] สุวิทย์ อัจริยะเมต, “การวางแผนและการดำเนินงานที่เหมาะสมของการจัดการกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- [28] จตุรงค์ ศรีบริกิจ, “การปรับปรุงพาดิเคิลสวอมอพติไมเซชัน โดยการประยุกต์การกลายพันธุ์ สำหรับแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558.
- [29] ชาญชัย อัครภูษิตกุล, “การออกแบบตัวทำเสถียรภาพแบบคงทนแบบกระจายศูนย์สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบหลายเครื่องจักร โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.
- [30] ธาวิต อมรชาญชัยกุล, “การเลือกคุณลักษณะเด่นของเครือข่ายประสาทเทียมโดยพาร์ติเคิลสวอร์ม ออพติไมเซชัน”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [31] อิศรภักดิ์ รินไธสง. (2548). สถิติสำหรับการวิจัยทางการศึกษา. บทที่18. [Online]. Available: <http://www.edu.tsu.ac.th/major/administration/data/FE511>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [32] กัลยา วานิชย์บัญชา, การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร, พิมพ์ครั้งที่ 4, ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2552 .
- [33] สมโภชน์ ศรีสมุทร. (2550). การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster Analysis. [Online]. Available: <http://www.saruthipong.com/port/document/299-705/299-705-10.pdf>.
- [34] สมโภชน์ ศรีสมุทร, “การวิเคราะห์การจัดกลุ่มโรงเรียนตามมาตรฐานการศึกษาเพื่อการประเมินคุณภาพภายนอก: ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานของโรงเรียนในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้”, วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550
- [35] วิภาวรรณ บัวทอง. (2557). Clustering : K-mean. Department of Informatics Phuket RajabhatUniversity. [Online]. Available: <https://wipawanblog.files.wordpress.com/2014/06/chapter-8-clustering-k-means.pdf>.
- [36] R. Eberhart and Y. Shi. Computational Intelligence: Concepts to Implementations, Morgan Kaufmann, 2007.
- [37] Mark Hudson Beale, Martin T. Hagan, Howard B. Demuth. Neural Network Toolbox™ User's Guide. 2010.
- [38] Rumelhart D.E., Hinton G.E. and Williams R.J. “Learning Representations by Back-Propagating Errors.” *Nature*. Vol. 323. (1986) : 533-536.
- [39] DlgSILENT GmbH. DlgSILENT PowerFactory 15 User Manual. Edition 2, Gomaringen, Germany, February 2014.
- [40] F. Bignucolo, R. Caldon, V. Prandoni, “Radial MV networks voltage regulation with distribution management system coordinated controller.” *ScienceDirect Electric Power Systems Research*, vol. 78, pp. 634–645, 2008.
- [41] Andrei Stativa. (2014). Two area system PSO DPL. DlgSILENT Public Group, [Online]. Available: <https://www.facebook.com/groups/23617877610/files/>.
- [42] E. Cherchi. “A Monte Carlo experiment to analyze the curse of dimensionality in estimating random coefficients models with a full variance–covariance matrix.” *ScienceDirect Transportation Research*, vol. 46, pp. 321-332, 2012.
- [43] Vincent Spruyt. (2014). The Curse of Dimensionality in classification. [Online]. Available: <http://www.visiondummy.com/2014/04/curse-dimensionality-affect-classification/>.

- [44] อรสา จรุงธรรม. (2012). สถิติขั้นสูงและการวิเคราะห์ข้อมูล. คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์. [Online]. Available: http://edu.vru.ac.th/website/download/ResearchProject/9ewt_dl.pdf.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดพิกัด และค่าตัวแปรต่าง ๆ ของระบบ ที่ใช้ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

โครงสร้างของระบบที่ใช้ทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้เป็นระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 20 kV แบบเรเดียลทั่วไปในยุโรป ที่ประกอบด้วย 2 สายป้อนตัวนำคือ ฝั่งสายป้อน A และฝั่งสายป้อน B ที่มีจำนวน 45 บัส ค่าความต้องการทางไฟฟ้ารวม 28.20 MW / 9.40 Mvar และกำลังผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ 38 MW ดังในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีค่ารายละเอียดของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัวในตาราง ก.1 และ ก.2 ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ค่าตัวแปรในสายส่ง

| Feeder | From | To | $R_1(\Omega)$ | $X_1(\Omega)$ |
|--------|----------|----------|---------------|---------------|
| A | MV | A01 DGA1 | 0.144 | 0.196 |
| | A01 DGA1 | A02 | 0.108 | 0.147 |
| | A02 | A03 | 0.163 | 0.179 |
| | A03 | A04 | 0.205 | 0.225 |
| | A04 | A05 | 0.172 | 0.188 |
| | A05 | A06 DGA2 | 0.174 | 0.191 |
| | A06 DGA2 | A07 | 0.149 | 0.164 |
| | A07 | A08 | 0.165 | 0.181 |
| | A08 | A09 | 0.249 | 0.122 |
| | A09 | A10 DGA3 | 0.283 | 0.139 |
| | A10 DGA3 | A11 | 0.249 | 0.122 |
| | A11 | A12 | 0.277 | 0.136 |
| | A12 | A13 | 0.218 | 0.107 |
| | A13 | A14 DGA4 | 0.302 | 0.148 |
| | A08 | A15 | 0.115 | 0.096 |
| | A15 | A16 | 0.109 | 0.092 |
| | A16 | A17 | 0.202 | 0.099 |
| | A17 | A18 DGA5 | 0.474 | 0.232 |
| | A16 | A19 | 0.297 | 0.146 |
| | A19 | A20 | 0.381 | 0.187 |
| A20 | A21 DGA6 | 0.318 | 0.156 | |
| B | MV | B01 | 0.062 | 0.053 |
| | B01 | B02 | 0.056 | 0.048 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ B01 ใช้งานเพื่อการ B02 เท่านั้น ไม่อนุญาต 0.056 ำไปใช้ประโยชน์ 0.048 การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าตัวแปรในสายส่ง (ต่อ)

| Feeder | From | To | $R_l(\Omega)$ | $X_l(\Omega)$ |
|--------|----------|----------|---------------|---------------|
| B | B02 | B03 | 0.071 | 0.061 |
| | B03 | B04 | 0.316 | 0.432 |
| | B04 | B05 | 0.289 | 0.395 |
| | B05 | B06 | 0.144 | 0.196 |
| | B06 | B07 DGB2 | 0.119 | 0.162 |
| | B03 | B08 DGB1 | 0.128 | 0.175 |
| | B08 DGB1 | B09 | 0.127 | 0.174 |
| | B09 | B10 | 0.160 | 0.219 |
| | B10 | B11 | 0.152 | 0.207 |
| | B11 | B12 | 0.149 | 0.203 |
| | B12 | B13 | 0.155 | 0.211 |
| | B13 | B14 | 0.114 | 0.156 |
| | B14 | B15 | 0.161 | 0.219 |
| | B15 | B16 | 0.157 | 0.214 |
| | B10 | B17 | 0.107 | 0.147 |
| | B17 | B18 DGB3 | 0.130 | 0.177 |
| | B18 DGB3 | B19 | 0.520 | 0.710 |
| | B19 | B20 | 0.142 | 0.156 |
| | B20 | B21 | 0.813 | 0.604 |
| | B21 | B22 | 0.811 | 0.603 |
| | B22 | B23 | 1.034 | 0.769 |

ตารางที่ ก.2 ค่าความต้องการของโหลด และค่ากำลังไฟฟ้าของ DG

| Feeder | Node | P_{Load} (MW) | Q_{Load} (Mvar) | P_{maxDG} (MW) |
|--------|----------|-----------------|-------------------|------------------|
| A | A01 DGA1 | 1.01 | 0.29 | 6.0 |
| | A02 | 0.80 | 0.23 | |
| | A03 | 1.01 | 0.29 | |
| | A04 | 0.80 | 0.23 | |
| | A05 | 0.30 | 0.09 | |
| | A06 DGA2 | | | 6.0 |
| | A07 | 1.01 | 0.29 | |
| | A09 | 1.01 | 0.29 | |
| | A10 DGA3 | 1.01 | 0.29 | 4.0 |
| | | A11 | 1.01 | 0.29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ A11 ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าความต้องการของโหลด และค่ากำลังไฟฟ้าของ DG (ต่อ)

| Feeder | Node | P_{Load} (MW) | Q_{Load} (Mvar) | P_{maxDG} (MW) |
|--------|----------|-----------------|-------------------|------------------|
| A | A12 | 1.01 | 0.29 | |
| | A13 | 1.01 | 0.29 | |
| | A14 DGA4 | 0.50 | 0.15 | 2.65 |
| | A15 | 1.01 | 0.29 | |
| | A17 | 1.01 | 0.29 | |
| | A18 DGA5 | 1.01 | 0.29 | 4.0 |
| | A20 | 0.50 | 0.15 | |
| | A21 DGA6 | 0.30 | 0.09 | 7.5 |
| B | B01 | 0.39 | 0.15 | |
| | B02 | 1.56 | 0.59 | |
| | B04 | 0.39 | 0.15 | |
| | B05 | 0.39 | 0.15 | |
| | B06 | 0.78 | 0.29 | |
| | B07 DGB2 | 0.39 | 0.15 | 5.0 |
| | B08 DGB1 | 0.78 | 0.29 | 2.0 |
| | B09 | 0.78 | 0.29 | |
| | B11 | 0.39 | 0.15 | |
| | B12 | 0.23 | 0.09 | |
| | B13 | 0.78 | 0.29 | |
| | B14 | 0.39 | 0.15 | |
| | B15 | 0.78 | 0.29 | |
| | B16 | 0.39 | 0.15 | |
| | B17 | 0.78 | 0.29 | |
| | B18 DGB3 | | | 0.8 |
| | B19 | 0.78 | 0.29 | |
| | B20 | 0.78 | 0.29 | |
| | B21 | 0.78 | 0.29 | |
| | B22 | 0.78 | 0.29 | |
| B23 | 1.56 | 0.59 | | |
| Sum | | 28.20 | 9.40 | 37.95 |

หม้อแปลง HV/MV ขนาด 40MVA ที่สถานีย่อยต้นทาง ที่มีระดับแรงดันลัดวงจร 15.5% มีการสูญเสียในสายไฟฟ้า 175kW ที่ค่าพิกัดของกระแส การเปลี่ยนแท็บหม้อแปลงไฟฟ้าขณะจ่ายไฟได้ มีทั้งหมด 25 แท็บ (ตั้งแต่ระดับ -9 ถึง +15 โดยแต่ละแท็บมีความกว้างแท็บเท่ากับ 0.75% ของแรงดันด้านทุติยภูมิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่าง ตัวแปรอินพุตทั้งหมด กับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัว

การใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r_{xy}) ระหว่างตัวแปรอินพุต 127 ตัวแปร กับแต่ละเอาต์พุต 9 ตัวแปร ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science (SPSS) แสดงไว้ในตาราง ข.1 ดังนี้

ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตทั้งหมด กับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัว

| Output(y) Input(x) | π_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ | $\sum r_{xy} $ |
|-----------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| P_{DFIG} | -0.017 | 0.202 | 0.039 | 0.152 | 0.212 | 0.181 | 0.115 | 0.218 | 0.102 | 1.136 |
| P_{DGA1} | -0.022 | 0.531 | -0.032 | 0.220 | 0.334 | 0.193 | 0.383 | 0.514 | 0.377 | 2.229 |
| P_{DGA2} | 0.052 | 0.422 | -0.011 | 0.258 | 0.370 | 0.249 | 0.366 | 0.551 | 0.398 | 2.279 |
| P_{DGA3} | -0.007 | 0.353 | -0.011 | 0.235 | 0.339 | 0.198 | 0.367 | 0.534 | 0.373 | 2.044 |
| P_{DGA4} | 0.024 | 0.332 | 0.008 | 0.213 | 0.368 | 0.196 | 0.349 | 0.518 | 0.368 | 2.008 |
| P_{DGA5} | -0.001 | 0.357 | 0.008 | 0.241 | 0.333 | 0.180 | 0.382 | 0.549 | 0.402 | 2.051 |
| P_{DGB1} | -0.045 | 0.362 | -0.013 | 0.202 | 0.318 | 0.171 | 0.432 | 0.490 | 0.384 | 2.033 |
| P_{DGB2} | -0.032 | 0.406 | 0.024 | 0.248 | 0.353 | 0.207 | 0.407 | 0.522 | 0.395 | 2.199 |
| P_{DGB3} | 0.014 | 0.338 | 0.009 | 0.250 | 0.359 | 0.224 | 0.391 | 0.544 | 0.432 | 2.129 |
| $P_{LoadA01}$ | 0.491 | 0.061 | 0.012 | -0.225 | -0.331 | -0.245 | -0.147 | -0.087 | -0.416 | 1.599 |
| $P_{LoadA02}$ | 0.516 | 0.002 | -0.025 | -0.257 | -0.356 | -0.310 | -0.200 | -0.156 | -0.486 | 1.822 |
| $P_{LoadA03}$ | 0.463 | -0.008 | -0.045 | -0.245 | -0.337 | -0.286 | -0.211 | -0.122 | -0.466 | 1.717 |
| $P_{LoadA04}$ | 0.493 | 0.098 | -0.028 | -0.234 | -0.303 | -0.275 | -0.162 | -0.092 | -0.444 | 1.685 |
| $P_{LoadA05}$ | 0.493 | 0.065 | -0.022 | -0.212 | -0.300 | -0.252 | -0.148 | -0.094 | -0.421 | 1.586 |
| $P_{LoadA07}$ | 0.470 | -0.028 | -0.031 | -0.267 | -0.356 | -0.286 | -0.199 | -0.129 | -0.447 | 1.766 |
| $P_{LoadA09}$ | 0.523 | 0.021 | -0.038 | -0.257 | -0.343 | -0.284 | -0.196 | -0.092 | -0.475 | 1.754 |
| $P_{LoadA10}$ | 0.531 | -0.007 | -0.024 | -0.227 | -0.352 | -0.266 | -0.188 | -0.107 | -0.464 | 1.702 |
| $P_{LoadA11}$ | 0.506 | 0.035 | 0.002 | -0.227 | -0.332 | -0.265 | -0.151 | -0.104 | -0.427 | 1.622 |
| $P_{LoadA12}$ | 0.502 | -0.028 | -0.028 | -0.265 | -0.362 | -0.293 | -0.181 | -0.131 | -0.467 | 1.790 |
| $P_{LoadA13}$ | 0.465 | 0.023 | -0.051 | -0.258 | -0.360 | -0.294 | -0.203 | -0.121 | -0.472 | 1.775 |
| $P_{LoadA14}$ | 0.494 | 0.139 | -0.027 | -0.255 | -0.327 | -0.271 | -0.142 | -0.086 | -0.445 | 1.741 |
| $P_{LoadA15}$ | 0.510 | 0.073 | -0.019 | -0.243 | -0.363 | -0.281 | -0.186 | -0.118 | -0.476 | 1.793 |
| $P_{LoadA17}$ | 0.482 | 0.062 | -0.030 | -0.258 | -0.341 | -0.265 | -0.195 | -0.104 | -0.448 | 1.737 |
| $P_{LoadA18}$ | 0.476 | 0.062 | 0.013 | -0.225 | -0.310 | -0.281 | -0.159 | -0.136 | -0.427 | 1.662 |
| $P_{LoadA20}$ | 0.479 | 0.083 | -0.028 | -0.208 | -0.309 | -0.276 | -0.167 | -0.064 | -0.443 | 1.614 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตทั้งหมด กับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัว (ต่อ)

| Output(y) Input(x) | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ | $\sum r_{xy} $ |
|-----------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| $P_{LoadA21}$ | 0.523 | 0.061 | 0.004 | -0.211 | -0.293 | -0.241 | -0.117 | -0.090 | -0.389 | 1.540 |
| $P_{LoadB01}$ | 0.497 | 0.073 | -0.001 | -0.218 | -0.312 | -0.221 | -0.140 | -0.047 | -0.432 | 1.509 |
| $P_{LoadB02}$ | 0.541 | 0.084 | -0.038 | -0.230 | -0.322 | -0.254 | -0.170 | -0.091 | -0.432 | 1.730 |
| $P_{LoadB04}$ | 0.505 | 0.032 | -0.017 | -0.251 | -0.344 | -0.284 | -0.183 | -0.130 | -0.460 | 1.746 |
| $P_{LoadB05}$ | 0.512 | 0.103 | 0.006 | -0.208 | -0.329 | -0.252 | -0.145 | -0.092 | -0.430 | 1.647 |
| $P_{LoadB06}$ | 0.481 | 0.001 | -0.052 | -0.253 | -0.341 | -0.273 | -0.209 | -0.125 | -0.459 | 1.735 |
| $P_{LoadB07}$ | 0.540 | 0.069 | -0.018 | -0.240 | -0.325 | -0.270 | -0.170 | -0.113 | -0.450 | 1.745 |
| $P_{LoadB08}$ | 0.537 | 0.045 | -0.030 | -0.231 | -0.332 | -0.274 | -0.213 | -0.076 | -0.476 | 1.738 |
| $P_{LoadB09}$ | 0.529 | 0.077 | -0.021 | -0.214 | -0.333 | -0.250 | -0.170 | -0.070 | -0.456 | 1.664 |
| $P_{LoadB11}$ | 0.480 | 0.048 | -0.047 | -0.244 | -0.318 | -0.262 | -0.184 | -0.092 | -0.448 | 1.675 |
| $P_{LoadB12}$ | 0.511 | 0.051 | -0.002 | -0.208 | -0.329 | -0.260 | -0.180 | -0.083 | -0.456 | 1.624 |
| $P_{LoadB13}$ | 0.511 | -0.007 | -0.012 | -0.250 | -0.353 | -0.301 | -0.189 | -0.164 | -0.459 | 1.787 |
| $P_{LoadB14}$ | 0.513 | 0.021 | 0.002 | -0.197 | -0.304 | -0.240 | -0.140 | -0.085 | -0.425 | 1.502 |
| $P_{LoadB15}$ | 0.473 | 0.028 | -0.032 | -0.259 | -0.342 | -0.276 | -0.167 | -0.076 | -0.450 | 1.653 |
| $P_{LoadB16}$ | 0.545 | 0.082 | -0.011 | -0.204 | -0.307 | -0.248 | -0.128 | -0.095 | -0.418 | 1.620 |
| $P_{LoadB17}$ | 0.522 | 0.028 | -0.016 | -0.222 | -0.324 | -0.246 | -0.178 | -0.081 | -0.455 | 1.617 |
| $P_{LoadB19}$ | 0.527 | 0.097 | -0.018 | -0.203 | -0.336 | -0.254 | -0.163 | -0.066 | -0.457 | 1.664 |
| $P_{LoadB20}$ | 0.486 | 0.003 | -0.058 | -0.308 | -0.388 | -0.311 | -0.215 | -0.106 | -0.513 | 1.875 |
| $P_{LoadB21}$ | 0.495 | -0.020 | -0.024 | -0.279 | -0.374 | -0.294 | -0.220 | -0.124 | -0.486 | 1.830 |
| $P_{LoadB22}$ | 0.539 | 0.139 | 0.031 | -0.217 | -0.293 | -0.215 | -0.114 | -0.039 | -0.407 | 1.587 |
| $P_{LoadB23}$ | 0.519 | 0.081 | -0.012 | -0.240 | -0.340 | -0.256 | -0.168 | -0.046 | -0.463 | 1.662 |
| $Q_{LoadA01}$ | 0.502 | -0.013 | -0.040 | -0.256 | -0.349 | -0.298 | -0.216 | -0.083 | -0.476 | 1.757 |
| $Q_{LoadA02}$ | 0.466 | 0.022 | -0.001 | -0.213 | -0.321 | -0.269 | -0.179 | -0.068 | -0.425 | 1.539 |
| $Q_{LoadA03}$ | 0.494 | 0.045 | -0.005 | -0.245 | -0.323 | -0.277 | -0.187 | -0.092 | -0.424 | 1.668 |
| $Q_{LoadA04}$ | 0.483 | 0.076 | -0.013 | -0.249 | -0.343 | -0.285 | -0.138 | -0.088 | -0.425 | 1.675 |
| $Q_{LoadA05}$ | 0.546 | 0.053 | 0.026 | -0.235 | -0.326 | -0.252 | -0.146 | -0.086 | -0.435 | 1.670 |
| $Q_{LoadA07}$ | 0.514 | 0.006 | -0.027 | -0.275 | -0.362 | -0.292 | -0.191 | -0.105 | -0.469 | 1.772 |
| $Q_{LoadA09}$ | 0.452 | 0.045 | -0.006 | -0.230 | -0.316 | -0.265 | -0.180 | -0.091 | -0.403 | 1.585 |
| $Q_{LoadA10}$ | 0.479 | 0.023 | -0.050 | -0.283 | -0.366 | -0.310 | -0.209 | -0.115 | -0.472 | 1.835 |
| $Q_{LoadA11}$ | 0.521 | 0.055 | 0.028 | -0.238 | -0.335 | -0.246 | -0.157 | -0.076 | -0.428 | 1.656 |
| $Q_{LoadA12}$ | 0.485 | 0.048 | 0.000 | -0.248 | -0.328 | -0.269 | -0.154 | -0.101 | -0.420 | 1.633 |
| $Q_{LoadA13}$ | 0.524 | 0.088 | -0.025 | -0.235 | -0.333 | -0.255 | -0.148 | -0.022 | -0.436 | 1.630 |
| $Q_{LoadA14}$ | 0.457 | -0.029 | -0.077 | -0.266 | -0.363 | -0.292 | -0.243 | -0.087 | -0.483 | 1.814 |
| $Q_{LoadA15}$ | 0.504 | 0.039 | -0.014 | -0.239 | -0.335 | -0.274 | -0.207 | -0.079 | -0.461 | 1.691 |
| $Q_{LoadA17}$ | 0.495 | 0.031 | -0.001 | -0.233 | -0.337 | -0.247 | -0.167 | -0.034 | -0.432 | 1.545 |
| $Q_{LoadA18}$ | 0.488 | 0.081 | -0.022 | -0.247 | -0.341 | -0.283 | -0.210 | -0.047 | -0.474 | 1.719 |
| $Q_{LoadA20}$ | 0.540 | 0.120 | -0.016 | -0.230 | -0.307 | -0.243 | -0.118 | -0.070 | -0.410 | 1.644 |

ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตทั้งหมด กับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัว (ต่อ)

| Output(y) Input(x) | n_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ | $\sum r_{xy} $ |
|-----------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| $Q_{LoadA21}$ | 0.484 | 0.062 | -0.045 | -0.264 | -0.359 | -0.309 | -0.224 | -0.086 | -0.474 | 1.833 |
| $Q_{LoadB01}$ | 0.460 | 0.052 | -0.027 | -0.271 | -0.355 | -0.280 | -0.151 | -0.065 | -0.445 | 1.661 |
| $Q_{LoadB02}$ | 0.510 | 0.004 | -0.035 | -0.261 | -0.351 | -0.287 | -0.231 | -0.097 | -0.462 | 1.776 |
| $Q_{LoadB04}$ | 0.476 | 0.098 | -0.042 | -0.253 | -0.333 | -0.269 | -0.144 | -0.063 | -0.432 | 1.678 |
| $Q_{LoadB05}$ | 0.526 | -0.009 | -0.035 | -0.260 | -0.355 | -0.294 | -0.222 | -0.070 | -0.486 | 1.771 |
| $Q_{LoadB06}$ | 0.444 | 0.008 | -0.022 | -0.244 | -0.344 | -0.263 | -0.179 | -0.123 | -0.436 | 1.627 |
| $Q_{LoadB07}$ | 0.477 | 0.053 | -0.008 | -0.240 | -0.332 | -0.267 | -0.216 | -0.058 | -0.449 | 1.651 |
| $Q_{LoadB08}$ | 0.508 | 0.106 | -0.024 | -0.255 | -0.347 | -0.273 | -0.152 | -0.051 | -0.458 | 1.716 |
| $Q_{LoadB09}$ | 0.497 | 0.031 | -0.022 | -0.248 | -0.328 | -0.294 | -0.180 | -0.091 | -0.439 | 1.691 |
| $Q_{LoadB11}$ | 0.504 | -0.029 | -0.032 | -0.267 | -0.363 | -0.300 | -0.223 | -0.116 | -0.482 | 1.834 |
| $Q_{LoadB12}$ | 0.537 | 0.093 | 0.020 | -0.258 | -0.348 | -0.287 | -0.152 | -0.038 | -0.458 | 1.733 |
| $Q_{LoadB13}$ | 0.502 | 0.071 | 0.004 | -0.237 | -0.347 | -0.267 | -0.148 | -0.088 | -0.437 | 1.664 |
| $Q_{LoadB14}$ | 0.568 | 0.067 | -0.029 | -0.269 | -0.365 | -0.295 | -0.182 | -0.099 | -0.475 | 1.874 |
| $Q_{LoadB15}$ | 0.480 | 0.084 | -0.013 | -0.266 | -0.375 | -0.308 | -0.188 | -0.101 | -0.464 | 1.815 |
| $Q_{LoadB16}$ | 0.559 | 0.089 | -0.008 | -0.266 | -0.344 | -0.255 | -0.162 | -0.067 | -0.456 | 1.750 |
| $Q_{LoadB17}$ | 0.466 | -0.044 | -0.019 | -0.279 | -0.368 | -0.304 | -0.228 | -0.112 | -0.463 | 1.820 |
| $Q_{LoadB19}$ | 0.532 | 0.121 | -0.002 | -0.244 | -0.331 | -0.260 | -0.126 | -0.101 | -0.400 | 1.717 |
| $Q_{LoadB20}$ | 0.518 | 0.057 | 0.016 | -0.228 | -0.362 | -0.269 | -0.173 | -0.072 | -0.451 | 1.695 |
| $Q_{LoadB21}$ | 0.497 | 0.100 | -0.015 | -0.267 | -0.356 | -0.282 | -0.159 | -0.061 | -0.457 | 1.737 |
| $Q_{LoadB22}$ | 0.522 | 0.055 | -0.035 | -0.271 | -0.355 | -0.296 | -0.197 | -0.062 | -0.476 | 1.793 |
| $Q_{LoadB23}$ | 0.550 | 0.052 | -0.028 | -0.265 | -0.362 | -0.281 | -0.215 | -0.059 | -0.490 | 1.812 |
| $P_{A01-A02}$ | 0.313 | -0.298 | -0.051 | -0.390 | -0.539 | -0.397 | -0.417 | -0.497 | -0.601 | 2.902 |
| $P_{A02-A03}$ | 0.299 | -0.304 | -0.048 | -0.386 | -0.535 | -0.391 | -0.416 | -0.503 | -0.594 | 2.882 |
| $P_{A03-A04}$ | 0.282 | -0.311 | -0.042 | -0.379 | -0.529 | -0.383 | -0.415 | -0.512 | -0.584 | 2.853 |
| $P_{A04-A05}$ | 0.264 | -0.320 | -0.036 | -0.371 | -0.521 | -0.373 | -0.413 | -0.520 | -0.574 | 2.818 |
| $P_{A05-A06}$ | 0.257 | -0.322 | -0.031 | -0.365 | -0.516 | -0.367 | -0.411 | -0.523 | -0.568 | 2.792 |
| $P_{A06-A07}$ | 0.338 | -0.258 | -0.037 | -0.365 | -0.516 | -0.371 | -0.387 | -0.468 | -0.574 | 2.740 |
| $P_{A07-A08}$ | 0.320 | -0.267 | -0.034 | -0.359 | -0.511 | -0.364 | -0.388 | -0.480 | -0.566 | 2.723 |
| $P_{A08-A09}$ | 0.339 | -0.242 | -0.021 | -0.341 | -0.500 | -0.340 | -0.391 | -0.463 | -0.589 | 2.637 |
| $P_{A08-A15}$ | 0.255 | -0.255 | -0.038 | -0.323 | -0.449 | -0.334 | -0.330 | -0.436 | -0.464 | 2.420 |
| $P_{A09-A10}$ | 0.297 | -0.263 | -0.016 | -0.333 | -0.494 | -0.329 | -0.395 | -0.487 | -0.572 | 2.614 |
| $P_{A10-A11}$ | 0.397 | -0.168 | -0.029 | -0.335 | -0.505 | -0.351 | -0.347 | -0.393 | -0.592 | 2.525 |
| $P_{A11-A12}$ | 0.324 | -0.210 | -0.033 | -0.330 | -0.503 | -0.339 | -0.368 | -0.438 | -0.579 | 2.545 |
| $P_{A12-A13}$ | 0.221 | -0.238 | -0.029 | -0.304 | -0.477 | -0.305 | -0.376 | -0.475 | -0.533 | 2.425 |
| $P_{A13-A14}$ | 0.076 | -0.287 | -0.014 | -0.253 | -0.415 | -0.240 | -0.359 | -0.508 | -0.437 | 2.152 |
| $P_{A15-A16}$ | 0.203 | -0.280 | -0.037 | -0.310 | -0.428 | -0.316 | -0.325 | -0.447 | -0.428 | 2.346 |
| $P_{A16-A17}$ | 0.230 | -0.256 | -0.012 | -0.309 | -0.423 | -0.276 | -0.390 | -0.493 | -0.530 | 2.389 |

ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรอินพุตทั้งหมด กับตัวแปรเอาต์พุตแต่ละตัว (ต่อ)

| Output(y) Input(x) | η_{Tab} | $V_{setpDGA1}$ | $V_{setpDGA2}$ | $V_{setpDGA3}$ | $V_{setpDGA4}$ | $V_{setpDGA5}$ | $V_{setpDGB1}$ | $V_{setpDGB2}$ | $V_{setpDGB3}$ | $\sum r_{xy} $ |
|-----------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| $P_{A16-A19}$ | 0.096 | -0.186 | -0.043 | -0.183 | -0.256 | -0.220 | -0.136 | -0.225 | -0.167 | 1.345 |
| $P_{A17-A18}$ | 0.128 | -0.303 | -0.005 | -0.277 | -0.381 | -0.238 | -0.384 | -0.526 | -0.473 | 2.242 |
| $P_{A19-A20}$ | 0.096 | -0.186 | -0.042 | -0.182 | -0.256 | -0.219 | -0.136 | -0.225 | -0.166 | 1.342 |
| $P_{A20-A21}$ | 0.051 | -0.197 | -0.040 | -0.165 | -0.230 | -0.196 | -0.122 | -0.223 | -0.126 | 1.224 |
| $P_{B01-B02}$ | 0.496 | -0.141 | -0.032 | -0.342 | -0.485 | -0.348 | -0.368 | -0.332 | -0.620 | 2.544 |
| $P_{B02-B03}$ | 0.476 | -0.162 | -0.029 | -0.344 | -0.488 | -0.348 | -0.379 | -0.350 | -0.622 | 2.576 |
| $P_{B03-B04}$ | 0.214 | -0.340 | -0.033 | -0.308 | -0.434 | -0.283 | -0.425 | -0.499 | -0.513 | 2.536 |
| $P_{B03-B08}$ | 0.559 | -0.044 | -0.022 | -0.319 | -0.456 | -0.339 | -0.306 | -0.224 | -0.604 | 2.269 |
| $P_{B04-B05}$ | 0.182 | -0.352 | -0.032 | -0.298 | -0.421 | -0.269 | -0.423 | -0.505 | -0.494 | 2.482 |
| $P_{B05-B06}$ | 0.147 | -0.370 | -0.032 | -0.289 | -0.406 | -0.256 | -0.423 | -0.512 | -0.473 | 2.435 |
| $P_{B06-B07}$ | 0.075 | -0.392 | -0.025 | -0.263 | -0.372 | -0.225 | -0.413 | -0.520 | -0.423 | 2.285 |
| $P_{B08-B09}$ | 0.595 | 0.026 | -0.025 | -0.305 | -0.430 | -0.332 | -0.240 | -0.145 | -0.575 | 2.098 |
| $P_{B09-B10}$ | 0.591 | 0.021 | -0.024 | -0.308 | -0.431 | -0.333 | -0.242 | -0.150 | -0.576 | 2.100 |
| $P_{B10-B11}$ | 0.596 | 0.035 | -0.024 | -0.280 | -0.394 | -0.323 | -0.200 | -0.125 | -0.530 | 1.977 |
| $P_{B10-B17}$ | 0.568 | 0.016 | -0.021 | -0.309 | -0.433 | -0.325 | -0.252 | -0.156 | -0.577 | 2.080 |
| $P_{B11-B12}$ | 0.589 | 0.031 | -0.018 | -0.273 | -0.389 | -0.318 | -0.192 | -0.125 | -0.519 | 1.935 |
| $P_{B12-B13}$ | 0.585 | 0.028 | -0.019 | -0.274 | -0.386 | -0.317 | -0.189 | -0.127 | -0.514 | 1.925 |
| $P_{B13-B14}$ | 0.576 | 0.045 | -0.021 | -0.264 | -0.372 | -0.299 | -0.173 | -0.096 | -0.501 | 1.846 |
| $P_{B14-B15}$ | 0.553 | 0.051 | -0.028 | -0.267 | -0.367 | -0.296 | -0.171 | -0.092 | -0.488 | 1.825 |
| $P_{B15-B16}$ | 0.545 | 0.082 | -0.011 | -0.204 | -0.307 | -0.248 | -0.128 | -0.095 | -0.418 | 1.620 |
| $P_{B17-B18}$ | 0.555 | 0.013 | -0.021 | -0.313 | -0.436 | -0.326 | -0.256 | -0.164 | -0.577 | 2.084 |
| $P_{B18-B19}$ | 0.590 | 0.071 | -0.020 | -0.288 | -0.401 | -0.307 | -0.205 | -0.082 | -0.538 | 1.964 |
| $P_{B19-B20}$ | 0.577 | 0.064 | -0.018 | -0.292 | -0.394 | -0.302 | -0.202 | -0.081 | -0.528 | 1.930 |
| $P_{B20-B21}$ | 0.580 | 0.078 | -0.007 | -0.277 | -0.381 | -0.289 | -0.191 | -0.072 | -0.513 | 1.875 |
| $P_{B21-B22}$ | 0.574 | 0.108 | 0.002 | -0.256 | -0.356 | -0.266 | -0.166 | -0.048 | -0.488 | 1.776 |
| $P_{B22-B23}$ | 0.518 | 0.080 | -0.012 | -0.241 | -0.341 | -0.257 | -0.169 | -0.046 | -0.465 | 1.664 |
| P_{MV-A01} | 0.279 | -0.356 | -0.038 | -0.377 | -0.526 | -0.377 | -0.429 | -0.517 | -0.588 | 2.899 |
| P_{MV-B01} | 0.500 | -0.137 | -0.032 | -0.342 | -0.485 | -0.349 | -0.366 | -0.328 | -0.621 | 2.539 |

โดยที่ตำแหน่งแถวของตัวแปร กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่เน้นไว้ คือค่าของตัวแปรอินพุตที่มีขนาดของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันกับตัวแปรเอาต์พุตในหลักนั้น ๆ มากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการจัดกลุ่มของตัวแปรแต่ละตัว ด้วยวิธี K-mean ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ

จากการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยที่ผลการจัดกลุ่มคลัสเตอร์ของตัวแปรแต่ละตัวในแต่ละสายป้อนย่อยต่าง ๆ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมที่ได้จะแสดงอยู่ในตารางที่ ค.1 ถึงตารางที่ ค.5 ดังนี้

ตารางที่ ค.1 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 1 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | |
| P_{MV-A01} | C_1 | C_1 | C_1 | 3.487 |
| $P_{A01-A02}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 3.503 |
| $P_{A02-A03}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 3.476 |
| $P_{A03-A04}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 3.437 |
| $P_{A04-A05}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 3.392 |
| $P_{A05-A06}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 3.360 |
| $P_{A06-A07}$ | C_1 | C_2 | C_2 | 3.314 |
| $P_{A07-A08}$ | C_1 | C_2 | C_2 | 3.289 |
| $P_{A08-A09}$ | C_1 | C_2 | C_2 | 3.226 |
| $P_{A09-A10}$ | C_1 | C_2 | C_2 | 3.186 |
| $P_{A10-A11}$ | C_1 | C_2 | C_2 | 3.117 |
| $P_{A11-A12}$ | C_1 | C_2 | C_2 | 3.124 |
| $P_{A12-A13}$ | C_1 | C_2 | C_3 | 2.958 |
| $P_{A13-A14}$ | C_2 | C_3 | C_4 | 2.589 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน A เส้นย่อยที่ 2 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | |
| $P_{A08-A15}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 2.884 |
| $P_{A15-A16}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 2.774 |
| $P_{A16-A17}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 2.919 |
| $P_{A16-A19}$ | C_2 | C_2 | C_2 | 2.715 |
| $P_{A17-A18}$ | C_1 | C_3 | C_3 | 1.512 |
| $P_{A19-A20}$ | C_2 | C_2 | C_3 | 1.508 |
| $P_{A20-A21}$ | C_2 | C_2 | C_4 | 1.350 |

ตารางที่ ค.3 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 1 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | |
| P_{MV-B01} | C_1 | C_1 | C_1 | 3.160 |
| $P_{B01-B02}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 3.164 |
| $P_{B02-B03}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 3.198 |
| $P_{B03-B04}$ | C_2 | C_2 | C_2 | 3.049 |
| $P_{B04-B05}$ | C_2 | C_2 | C_2 | 2.976 |
| $P_{B05-B06}$ | C_2 | C_2 | C_3 | 2.908 |
| $P_{B06-B07}$ | C_2 | C_3 | C_4 | 2.708 |

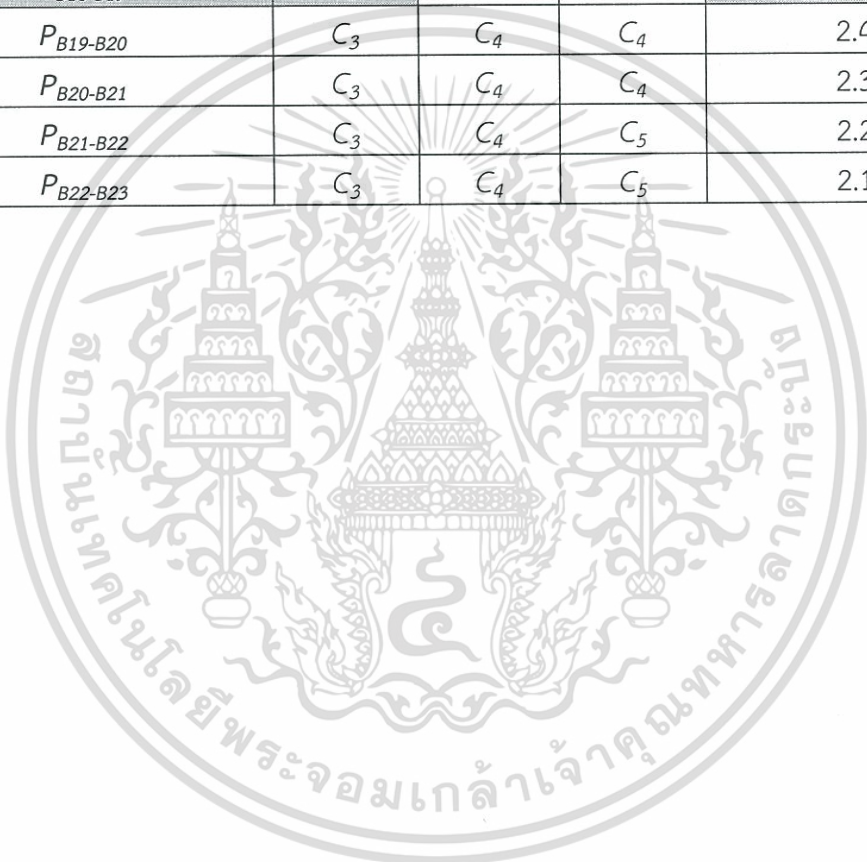
ตารางที่ ค.4 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 2 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | |
| $P_{B10-B11}$ | C_1 | C_1 | 2.507 |
| $P_{B11-B12}$ | C_1 | C_1 | 2.454 |
| $P_{B12-B13}$ | C_1 | C_1 | 2.439 |
| $P_{B13-B14}$ | C_1 | C_2 | 2.347 |
| $P_{B14-B15}$ | C_1 | C_2 | 2.313 |
| $P_{B15-B16}$ | C_2 | C_3 | 2.038 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลการจัดกลุ่มตัวแปรของกำลังไฟฟ้าจริงแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B เส้นย่อยที่ 3 ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | 3 | 4 | 5 | |
| $P_{B03-B08}$ | C_1 | C_1 | C_1 | 2.873 |
| $P_{B08-B09}$ | C_2 | C_2 | C_2 | 2.673 |
| $P_{B09-B10}$ | C_2 | C_2 | C_2 | 2.676 |
| $P_{B10-B17}$ | C_2 | C_2 | C_2 | 2.657 |
| $P_{B17-B18}$ | C_2 | C_3 | C_3 | 2.661 |
| $P_{B18-B19}$ | C_3 | C_4 | C_4 | 2.502 |
| $P_{B19-B20}$ | C_3 | C_4 | C_4 | 2.458 |
| $P_{B20-B21}$ | C_3 | C_4 | C_4 | 2.388 |
| $P_{B21-B22}$ | C_3 | C_4 | C_5 | 2.264 |
| $P_{B22-B23}$ | C_3 | C_4 | C_5 | 2.129 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางแสดงผลการจัดกลุ่มของตัวแปรแต่ละตัว ด้วยวิธี K-mean ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3

จากการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี K-mean จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรเฉพาะค่าของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 โดยที่ผลการจัดกลุ่มคลัสเตอร์ของตัวแปรแต่ละตัวในแต่ละสายป้อนย่อยต่าง ๆ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมที่ได้จะแสดงอยู่ในตารางที่ ง.1 ถึงตารางที่ ง.5 ดังนี้

ตารางที่ ง.1 การจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน A ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| P_{DFIG} | C_1 | C_1 | C_1 | C_1 | C_1 | 1.238 |
| P_{DGA1} | C_1 | C_2 | C_2 | C_2 | C_2 | 2.606 |
| P_{DGA2} | C_1 | C_2 | C_2 | C_3 | C_3 | 2.677 |
| P_{DGA3} | C_1 | C_2 | C_2 | C_3 | C_3 | 2.417 |
| P_{DGA4} | C_1 | C_2 | C_2 | C_3 | C_3 | 2.376 |
| P_{DGA5} | C_1 | C_2 | C_2 | C_3 | C_3 | 2.453 |
| $P_{LoadA01}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.015 |
| $P_{LoadA02}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.308 |
| $P_{LoadA03}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.183 |
| $P_{LoadA04}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.129 |
| $P_{LoadA05}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.007 |
| $P_{LoadA07}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.213 |
| $P_{LoadA09}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.229 |
| $P_{LoadA10}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.166 |
| $P_{LoadA11}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.049 |
| $P_{LoadA12}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.257 |
| $P_{LoadA13}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.247 |
| $P_{LoadA14}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.186 |
| $P_{LoadA15}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.269 |
| $P_{LoadA17}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_5 | 2.185 |
| $P_{LoadA18}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.089 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 การจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน A ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 (ต่อ)

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| $P_{LoadA20}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.057 |
| $P_{LoadA21}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 1.929 |
| $Q_{LoadA01}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.233 |
| $Q_{LoadA02}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 1.964 |
| $Q_{LoadA03}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.092 |
| $Q_{LoadA04}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.100 |
| $Q_{LoadA05}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.105 |
| $Q_{LoadA07}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.241 |
| $Q_{LoadA09}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 1.988 |
| $Q_{LoadA10}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.307 |
| $Q_{LoadA11}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.084 |
| $Q_{LoadA12}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 2.053 |
| $Q_{LoadA13}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.066 |
| $Q_{LoadA14}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.297 |
| $Q_{LoadA15}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.152 |
| $Q_{LoadA17}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_4 | 1.977 |
| $Q_{LoadA18}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.193 |
| $Q_{LoadA20}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.054 |
| $Q_{LoadA21}$ | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_5 | 2.307 |

ตารางที่ ง.2 การจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| P_{DGB1} | C_1 | C_1 | C_1 | C_1 | C_1 | 2.417 |
| P_{DGB2} | C_1 | C_1 | C_1 | C_2 | C_2 | 2.594 |
| P_{DGB3} | C_1 | C_1 | C_1 | C_2 | C_2 | 2.561 |
| $P_{LoadB01}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_3 | 1.941 |
| $P_{LoadB02}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.162 |
| $P_{LoadB04}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_5 | 2.206 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 การจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 (ต่อ)

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| $P_{LoadB05}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.077 |
| $P_{LoadB06}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_5 | 2.194 |
| $P_{LoadB07}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.195 |
| $P_{LoadB08}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.214 |
| $P_{LoadB09}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.120 |
| $P_{LoadB11}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.123 |
| $P_{LoadB12}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.080 |
| $P_{LoadB13}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.246 |
| $P_{LoadB14}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 1.927 |
| $P_{LoadB15}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.103 |
| $P_{LoadB16}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.038 |
| $P_{LoadB17}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.072 |
| $P_{LoadB19}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.121 |
| $P_{LoadB20}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.388 |
| $P_{LoadB21}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.316 |
| $P_{LoadB22}$ | C_2 | C_2 | C_4 | C_5 | C_3 | 1.994 |
| $P_{LoadB23}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.125 |
| $Q_{LoadB01}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.106 |
| $Q_{LoadB02}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.238 |
| $Q_{LoadB04}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.110 |
| $Q_{LoadB05}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.257 |
| $Q_{LoadB06}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_5 | 2.063 |
| $Q_{LoadB07}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.100 |
| $Q_{LoadB08}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.174 |
| $Q_{LoadB09}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.130 |
| $Q_{LoadB11}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.316 |
| $Q_{LoadB12}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.191 |
| $Q_{LoadB13}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.101 |
| $Q_{LoadB14}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.349 |
| $Q_{LoadB15}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.279 |
| $Q_{LoadB16}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.206 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 การจัดกลุ่มตัวแปรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบแต่ละตัว กับค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันรวมของสายป้อน B ในการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีเปรียบเทียบที่ 3 (ต่อ)

| Input | จำนวนคลัสเตอร์ | | | | | $\sum r_{xy} $ |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| $Q_{LoadB17}$ | C_2 | C_3 | C_3 | C_4 | C_6 | 2.283 |
| $Q_{LoadB19}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.117 |
| $Q_{LoadB20}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.146 |
| $Q_{LoadB21}$ | C_2 | C_2 | C_2 | C_3 | C_4 | 2.194 |
| $Q_{LoadB22}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.269 |
| $Q_{LoadB23}$ | C_2 | C_3 | C_2 | C_3 | C_5 | 2.302 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความทางวิชาการระดับชาติ (National Conference)

1. อิศรา ผ่านเมือง และวรวรรณ นาคะวิโร, “การเลือกใช้ตัวแปรสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 (EECON-39), 2-4 พฤศจิกายน 2559, เพชรบุรี, ประเทศไทย, หน้า.151-154.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้ตัวแปรสำหรับ โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการควบคุมแรงดัน ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่าย พลังงานทดแทน

Feature Selection for Artificial Neural Network used for Voltage Control in the Power System with Renewable Sources

อิสรา ค่านเมือง¹ และ วรวรรณ นาคะวิโว

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง Email: ownnyva@gmail.com¹

บทคัดย่อ

แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนเข้ามามีอิทธิพลต่อแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมากในระยะหลังเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของกำลังที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งการรักษาระดับแรงดันหน้าบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กระจายตัวเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้แรงดันในลุ่มอื่นๆ ของระบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้างต้น แรงดันที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงควรจะถูกตั้งไว้ที่ค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลาบทความนี้จึงโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายค่าดังกล่าวโดยใช้การคัดเลือกชุดตัวแปรที่ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีขนาดค่าล้นรวมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการจัดกลุ่มแบบ k-mean ช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการทำนายค่าที่ดีที่สุด

คำสำคัญ: การเลือกใช้ตัวแปร, ระบบไฟฟ้ากำลัง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย, พลังงานทดแทน, โครงข่ายประสาทเทียม, การควบคุมแรงดัน

Abstract

In recent years, renewable energy sources have played a significant impact on the voltage level due to intermittent power injected to the power system. Controlling the generator terminal voltage to a specified value can help maintain the voltage at nearby locations within the allowable limits. This paper applies artificial neural network (ANN) to determine the suitable voltage set-point for each time period. A few feature selection methods are investigated in this paper. The simulation results reveal that the k-mean clustering method provides the best accuracy.

Keywords: Feature Selection, Power systems, Distributed Generator, Renewable Energy, Artificial Neural Networks, Voltage Control

1. บทนำ

ในปัจจุบันแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนเข้ามามีบทบาทในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการที่มากขึ้นภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่เนื่องมาจากพลังงานทดแทนเหล่านี้มีกำลัง

การผลิตที่ไม่คงที่ด้วยเหตุผลสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีความไม่สม่ำเสมอ ประกอบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงเดิมถูกออกแบบให้จ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอาจเกิดปัญหาทางด้านคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบตามมา การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบลักษณะนี้จึงเป็นสิ่งที่จะต้องได้รับการพิจารณา

โดยทั่วไปการปรับแก้ของหม้อแปลงในขณะมีโหลดจะส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง นอกจากนั้นยังสามารถควบคุมแรงดันหน้าบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิต วิทยุที่มีข้อดกลงให้ควบคุมได้ในระบบ ทำให้ส่งผลกระทบต่อตัวส่งต่างๆที่อยู่ใกล้เคียงกันในระบบเปลี่ยนแปลงไปด้วย การทำงานอย่างสอดคล้องประสานของการควบคุมหลายวิธีจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ทั้งระบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

บทความนี้จึงนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยพยากรณ์ค่าแรงดันหน้าบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยข้อมูลของระบบไฟฟ้า ณ ขณะนั้นเป็นอินพุต แต่เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ไม่มีปริมาณมาก การคัดเลือกตัวแปรที่จะส่งผลกระทบต่อเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความสำคัญมาก ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเสนอเทคนิคการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ k-mean คู่กับการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ที่ได้ข้อมูลมาจากการทำกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค มาใช้ป็นวิธีการในการคัดเลือกตัวแปรที่ทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าที่ดีที่สุด

ส่วนที่เหลือของบทความนี้ถูกจัดเรียงดังต่อไปนี้ ส่วนข้อที่ 2 นำเสนอวิธีการวิจัยและระบบทดสอบที่ใช้ ส่วนข้อที่ 3 แสดงผลการทดสอบ และส่วนข้อที่ 4 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทางการวิจัยต่อไป

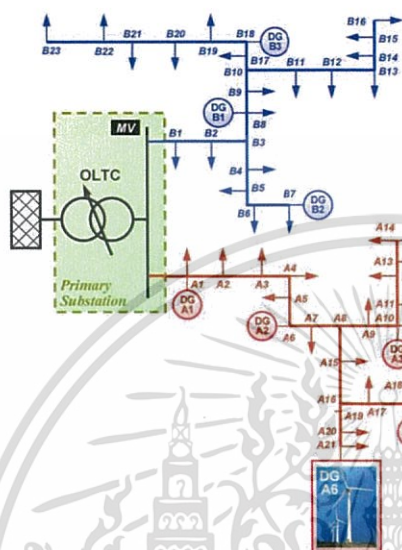
2. รูปแบบ และวิธีการที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 ระบบและ โปรแกรมที่ใช้ในเก็บข้อมูล

ระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองระบบจำหน่ายที่มีระดับแรงดัน 20kV [1] ด้วยโปรแกรม Digsilent PowerFactory [2] โดยที่ในระบบจะมีหม้อแปลงชนิดรับเปลี่ยนจำนวนลำดับขั้นได้ในขณะที่ข้อมูล

PW038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าที่ถูกจำลองในการศึกษาข้อมูล

ในระบบ 1 ตัว คือตู้กับระบบจำหน่ายที่มีสายป้อน A จำนวน 21 บัส (A01 – A21) และสายป้อน B ที่มีจำนวน 23 บัส (B01 – B23) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารีแบบกระจาย (DG) คืออยู่ในระบบทั้งหมด 8 ตัว และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบกังหันลมอีก (DGA6) 1 ตัว ซึ่งจะแสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อเป็นในตารางรูปที่ 1

ซึ่งในระบบที่จำลองนี้สิ่งที่น่าสนใจคือ แต่ละสายป้อนนั้นเป็นการต่อสายป้อนแบบเห็นเคียวยาวไปจนถึงท้ายสายป้อน ทำให้ทั้ง 2 สายป้อนต้องประสบปัญหาแรงดันที่จุดปลายสายต่ำกว่าค่าที่จะยอมรับได้ อีกทั้งในระบบยังได้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือแบบกระจาย และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลม ที่ยังอาจทำให้แรงดันในระบบมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจของระบบทดสอบนี้

2.2 การสร้างชุดข้อมูล

งานวิจัยนี้ ได้จำลองสถานการณ์ของระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อสร้างชุดข้อมูลที่แตกต่างกันด้วยวิธีแบบสุ่ม และทำการหาค่าจุดควบคุมที่ดีที่สุดผ่านกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาค เพื่อค้นหาชุดการทำงานควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจากที่ทำให้แรงดันที่ทุกบัสมีค่าเบี่ยงเบนออกจากระดับแรงดันปกติน้อยที่สุด

$$\text{Min} - \sum_{i=1}^n |V_i - 1| \quad (1)$$

โดย V_i เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัส i ในหน่วย per unit (p.u.) และ n เป็นจำนวนของบัสทั้งหมดในระบบไฟฟ้า (ในที่นี้ $n = 44$)

การจัดองเหตุการณ์ในสถานการณ์ต่างๆ ประกอบด้วย 1471 เหตุการณ์ที่แตกต่างกัน และเก็บข้อมูลของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่ง (P_MV-A01, ..., P_MV-B01, ...) ทั้งหมด 44 ค่า กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม (P_DGA1, ...) ทั้งหมด 9 ค่า และกำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนของภาระทางไฟฟ้า (P_LoadA1, ..., Q_LoadA1, ...) ทั้งหมด 74 ค่า รวมทั้งทั้งหมด 127 ค่า เป็นข้อมูลที่จะมาทำการคัดเลือกเป็นค่าอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียม และเก็บข้อมูลของแรงดันที่เป็นจุดตั้งค่าให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารีและตัวควบคุมให้ได้ค่าอื่นๆ ($V_{scip_DGA1, \dots}$) 8 ค่า และค่าจำนวนลำดับขั้นของหม้อแปลงหม้อแปลงกันทางของระบบ (nTab) 1 ค่า รวมทั้งทั้งหมด 9 ค่า เป็นข้อมูลทางด้านเอาท์พุทของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อที่จะนำมาเป็นข้อมูลตั้งต้นในการทำการคัดเลือกข้อมูลไปสร้างโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

2.3 การคัดเลือก และกำจัดตัวแปรในรูปแบบกรณีต่างๆ

วิธีการคัดเลือก และกำจัดตัวแปรในกรณีต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบกับ โครงข่ายประสาทเทียม นั้นมีลักษณะการคัดเลือกตามรูปแบบในกรณีต่างๆดังนี้

กรณีที่ 1 เลือกข้อมูล โดยอาศัยประสบการณ์ของผู้วิจัย ในที่นี้เกณฑ์การเลือกคือ เลือกเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งก่อนที่ตำแหน่งสายก่อนจะถูกแยกเป็นสายย่อยแต่ละสาย ดังนั้นจะได้สายป้อน A มา 2 ตัวแปร และสายป้อน B อีก 2 ตัวแปร และนำการเลือกเอาค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ตำแหน่งต้นสายของแต่ละสายป้อนจะได้อีก 2 ตัวแปร จะได้ตัวแปรดังนี้คือ P_MV-A01, P_A07-A08, P_A15-A16, P_MV-B01, P_B02-B03, P_B09-B10 รวมทั้งหมด 6 ตัวแปร

กรณีที่ 2 เลือกโดยใช้หลักเกณฑ์ของความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างตัวแปรอินพุตกับตัวแปรเอาท์พุท ที่ทุก มาเป็นเกณฑ์ในการหาคัดเลือกตัวแปร โดยนำข้อมูลทั้งหมดที่มีทั้ง 1471 รอบ นำไปหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจาก โปรแกรม SPSS [5] จะได้ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต กับเอาท์พุท ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต และเอาท์พุท

| input \ Output | P_B10-B11 | P_DG A1 | Q_Load A14 | P_A01-A02 | P_DG B1 | P_DG A2 | P_B02-B03 |
|----------------|-----------|---------|------------|-----------|---------|---------|-----------|
| nTab | .596 | -.022 | .457 | .313 | -.045 | .052 | .476 |
| Vs.DGA1 | .035 | .531 | -.029 | -.298 | .362 | .422 | -.162 |
| Vs.DGA2 | -.024 | -.032 | -.077 | -.051 | -.013 | -.011 | -.029 |
| Vs.DGA3 | -.280 | .220 | -.266 | -.390 | .202 | .258 | -.344 |
| Vs.DGA4 | -.394 | .334 | -.363 | -.539 | .318 | .370 | -.488 |
| Vs.DGA5 | -.323 | .193 | -.292 | -.397 | .171 | .249 | -.348 |
| Vs.DGB1 | -.200 | .383 | -.243 | -.417 | .432 | .366 | -.379 |
| Vs.DGB2 | -.125 | .514 | -.087 | -.497 | .490 | .551 | -.350 |
| Vs.DGB3 | -.530 | .377 | -.483 | -.601 | .384 | .398 | -.622 |

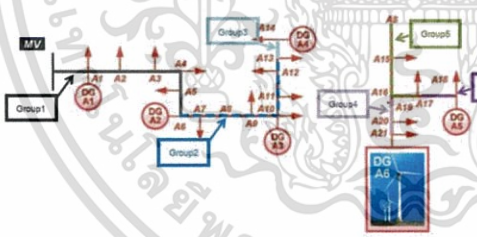
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการคัดเลือกนี้จะเลือกใช้เฉพาะค่าตัวแปรอินพุตที่มีค่าน้ำหนักความสัมพันธ์กับค่าเอาต์พุตมากที่สุดของแต่ละตัวแปรของเอาต์พุต จะได้ตัวแปรดังนี้คือ P_DGA1, P_DGA2, P_DGB1, P_A01-A02, P_B02-B03, P_B10-B11, Q_LoadA14 ดังนั้นในกรณีนี้ 2 นี้จะได้ตัวแปรทั้งหมดรวม 7 ตัวแปร

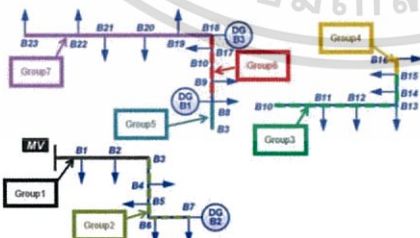
กรณีที่ 3 เป็นการนำเอากระบวนการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี k-mean [6] มาใช้เพื่อจัดกลุ่มตัวแปรที่มีคุณลักษณะคล้ายกันเข้าไว้ด้วยกัน และเลือกตัวแทนของกลุ่มนั้นมาเพียงตัวเดียว โดยใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต กับเอาต์พุตทั้งหมดที่ได้จากในกรณีที่ 2 มาใช้เป็นเงื่อนไขของการจัดกลุ่ม

กรณีที่ 3 นี้จะพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเท่านั้น เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวได้รวมปริมาณของระบบไฟฟ้าอื่นๆ เช่น กำลังความต้องการของโหลด กำลังอากาศเครื่องกำเนิด และกำลังที่ไหลผ่านสายส่งอื่นๆ ที่ในบริเวณใกล้เคียง

เพื่อป้องกันกรณีที่กำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ไม่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้เกณฑ์ในการแยกมาทำการจัดกลุ่มแบบทั้งหมดของสายป้อนหนึ่งมาก่อนเพื่อดูแนวโน้มของกลุ่มหลักของสายป้อนย่อยก่อนจะดึงแยกสายป้อนย่อยออก ดังนั้นการจัดกลุ่มในกรณีของรูปแบบที่ 3 นี้จะได้การแยกคิดทางสายป้อน A เป็นแปดเป็น 2 สายย่อย จัดได้ 6 กลุ่ม ดังรูปที่ 2 และการแยกคิดทางสายป้อน B เป็น 3 สายย่อย จัดได้ 7 กลุ่ม ดังรูปที่ 3 และหลังจากนั้นก็ทำการเลือกตัวแทน โดยใช้เกณฑ์ของตัวแปรที่ค่าความสัมพันธ์รวมแก่ค่าเอาต์พุตทั้งหมดมากที่สุด



รูปที่ 2 ลักษณะการพิจารณาการแยกสายป้อน A และกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่ม



รูปที่ 3 ลักษณะการพิจารณาการแยกสายป้อน B และกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่ม

ดังนั้นการทำการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มนี้ทำให้ได้ตัวแปรจากสายทางด้านสายป้อน A มา 6 ตัวแปร และสายป้อน B มา 7 ตัวแปร จะได้ตัวแปรดังนี้คือ P_A01-A02, P_A06-A07, P_A13-A14, P_A16-A17, P_A17-A18, P_A16-A19, P_B02-B03, P_B03-B04, P_B03-B08, P_B09-B10, P_B10-B11, P_B15-B16, P_B18-B19 รวมกันเป็น 13 ตัวแปร

กรณีที่ 4 เป็นการนำเอากระบวนการจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธี k-mean มาใช้เหมือนกับในกรณีที่ 3 แต่ในกรณีที่ 4 นี้จะทำการจัดกลุ่มของค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว และค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันลม กับค่าภาระทางไฟฟ้าของโหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่ในระบบมาจัดกลุ่มแทน

โดยในรูปแบบของกรณีนี้จะพิจารณาเป็นแยกการจัดกลุ่มเป็น 2 ครั้งคือ ตัวแปรที่ต่ออยู่ในสายป้อน A ทั้งหมดตลอดสายป้อน และตัวแปรที่ต่ออยู่ในสายป้อน B ทั้งหมดตลอดสายป้อน

ซึ่งจะได้ตัวแปรของด้านสายป้อน A มา 4 ตัวแปร และด้านสายป้อน B มา 3 ตัวแปร จะได้ตัวแปรดังนี้คือ P_DGA2, P_DGA6, P_DGB2, P_LoadA02, P_LoadB20, Q_LoadB16, Q_LoadA18 รวมกันเป็น 7 ตัวแปร

กรณีที่ 5 เป็นการนำตัวแปรในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 มารวมกัน คือเป็นการนำตัวแปรของการจัดกลุ่มแบบค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่ง และค่าของกำลังไฟฟ้าในแต่ละหน่วย มารวมกัน จึงได้ตัวแปรทั้งหมดในกรณีที่ 5 เป็น 20 ตัวแปร

2.4 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการทำนายค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยรอกับแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมได้พิจารณาประสิทธิภาพการทำผลของกรณีต่างๆ จากการคัดเลือกข้อมูลอินพุตแตกต่างกัน และได้เลือกลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความเหมาะสมกับแต่ละข้อมูลของกรณีต่างๆมากที่สุด

การประมวลผลข้อมูล และการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมได้อาศัยโปรแกรม MATLAB โดยการฝึกสอนเป็นแบบกระบวนการส่งค่าย้อนกลับ (Back-propagation) โดยที่การปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบแอสของโครงข่ายประสาทเทียมด้วยวิธี Levenberg - Marquardt algorithm ซึ่งมีจำนวนรอบการทำซ้ำ (Epoch) สูงสุด 1000 รอบ และกำหนดให้มีจำนวนชั้นซ่อน (Hidden layer) 1 ชั้น ซึ่งฟังก์ชันที่จะนำมาใช้ก็มีทั้งหมด 3 ฟังก์ชัน ได้แก่ Linear, Log-sigmoid และ Tan-sigmoid [4] ดังนั้นเมื่อรวมกันทั้งอินพุตแล้วจะได้โครงสร้างที่ทำการทดสอบมีทั้งหมด 9 รูปแบบ

ซึ่งผลรวมของค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Sum of Mean Absolute Percent Error, MAPE) ของค่าเอาต์พุตที่ได้มาจากโครงข่ายประสาทเทียมถูกใช้เป็นค่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

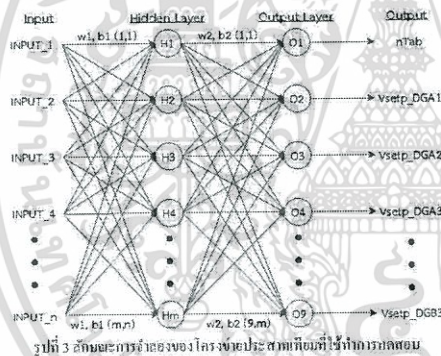
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มาจากการฝึกสอนที่มีกรณีของรูปแบบข้อมูล และชนิดของโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงการคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$MAPE = \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \left| \frac{T_{ij} - O_{ij}}{T_{ij}} \right| \times 100\% \right) \quad (2)$$

โดย T_{ij} เป็นค่าเอาต์พุตค่าจริงของชุดทดสอบที่ i และค่าเอาต์พุตตัวที่ j ที่มาได้จากโปรแกรม DigSILENT PowerFactory O_{ij} เป็นค่าเอาต์พุตที่ได้จากของโครงข่ายประสาทร่วมของชุดทดสอบที่ i และค่าเอาต์พุตตัวที่ j ตามลำดับ s เป็นจำนวนชุดทดสอบ (ในที่นี้ $s = 371$) และ m เป็นจำนวนตัวเอาต์พุต (ในที่นี้ $m = 9$)

โดยจำนวน โครงสร้างของชั้นซ่อนที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนในระหว่างการศึกษาจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่ดีที่สุดดังในรูปที่ 3 โดยการที่นำผลให้หาไว้ที่ 20 โครงสร้างต่อ 1 ชนิดของ โครงข่ายประสาทเทียม (ตั้งแต่ 1 เซลล์ประสาท ถึง 20 เซลล์ประสาท) และให้ทำการสุ่มค่าวงน้ำหนัก และค่าไบแอสใหม่ต่อจำนวนเซลล์ประสาทในโครงข่ายนั้นๆ ทั้งหมดไว้ที่ 20 ครั้งต่อโครงข่ายของเซลล์ประสาท



3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดข้อมูล

ผลที่ได้จากการทดสอบการใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรในกรณีข้อมูลชุดต่างๆ กับโครงข่ายประสาทเทียม จะได้ชนิดของฟังก์ชันในชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต และจำนวนของเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ทำให้ค่าผลรวมของค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ของกรณีข้อมูลในชุดต่างๆ นั้นมีค่าที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพของกรณีข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกตัวแปร

| กรณีของข้อมูล | Transfer Function | | จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน | Σ MAPE |
|---------------|-------------------|--------------|----------------------------|---------|
| | Hidden Layer | Output Layer | | |
| 1 | Log-sigmoid | Tan-sigmoid | 14 | 18.2172 |
| 2 | Log-sigmoid | Tan-sigmoid | 12 | 17.9541 |
| 3 | Tan-sigmoid | Tan-sigmoid | 14 | 16.2192 |

| | | | | |
|---|-------------|-------------|----|---------|
| 4 | Log-sigmoid | Tan-sigmoid | 16 | 21.9333 |
| 5 | Tan-sigmoid | Tan-sigmoid | 10 | 16.8588 |

จากผลที่ได้ในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าในชุดข้อมูลกรณีที่ 3 ที่ได้จากการทำการคัดเลือกตัวแปรจากกำลังไฟฟ้าในสายส่งด้วยวิธีการจัดกลุ่มตัวแปรทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบมีค่าที่ดีที่สุด

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอวิธีการจัดกลุ่มแบบ k-mean เพื่อประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกตัวแปรอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทำนายจุดตั้งค่าแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยผลการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ k-mean ในกรณีที่ 3 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องมาจากการกำลังไฟฟ้าในสายส่งให้รวมความผันผวนของทั้งกำลังการผลิตและกำลังโหลดในระบบเข้าไว้ด้วยกัน แตกต่างจากการฝึกศึกษาอื่นที่มีการนำข้อมูลที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความเป็นอิสระอยู่ในตัวเข้าไปพิจารณาเพิ่มเติม ซึ่งนอกจากจะเพิ่มปริมาณข้อมูลที่ต้องพิจารณาแล้ว ก็ไม่ได้ทำให้ประสาทร่วมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ในอนาคตจะนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบไว้ไปใช้ปรับค่าแรงดันที่มีเครื่องกำเนิดในกรณีจำลองบนปริภูมิเวลา (Time-domain) ในสถานการณ์ต่างๆ ได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Bignucolo, R. Caldori, V. Prandoni, Radial MV networks voltage regulation with distribution management system coordinated controller, ScienceDirect Electric Power Systems Research 78 (2008) 634-645
- [2] DigSILENT GmbH, DigSILENT PowerFactory 15 User Manual, Edition 2, Gmaringen, Germany, February 2014
- [3] R. Eberhart and Y. Shi, "Computational Intelligence: Concepts to Implementations", Morgan Kaufmann, 2007
- [4] Mark Hucson Beale, Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, "Neural Network Toolbox™ User's Guide", 2010
- [5] อรสา จรูญธรรม, "สถิติขั้นสูงและการวิเคราะห์ข้อมูล", คณะครูศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์
- [6] สมโภชน์ ศรีสมุท, "การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster Analysis", <http://www.saruthipong.com/port/document/299-705/299-705-10.pdf>
- [7] Andrei Stativa, Two area system PSO DPL, DigSILENT Public Group, <https://www.facebook.com/groups/23617877610/files/>, March 21, 2014

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล อิศรา ผ่านเมือง
 วัน เดือน ปีเกิด 09 กันยายน 2533 ที่ จ.ชลบุรี
 ที่อยู่ 501/45 หมู่ 11 ต.คลองด่าน อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ 10550

ประวัติการศึกษา 2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้