

ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติพร้อมกันในกระบวนการ
โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายชั้นตอน

นางสาวรจนา งามมิตรสมบูรณ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-763-6

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROCESS FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS OF MULTIPLE SIMULTANEOUS FAULTS
USING MULTI-STAGE HIERARCHICAL ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Miss Rojana Ngammitsomboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999


ISBN 974-333-763-6

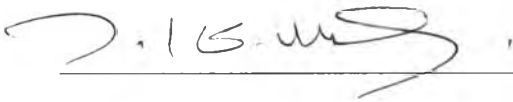
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติพร้อมกันในระบบวนการ
โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายชั้นตอน
โดย นางสาวรจนา งามมิตรสมบุญ
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ เชาววิศิษฐ์

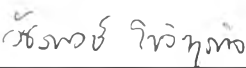
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


_____ คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


_____ ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ ประดิษฐ์านนท์)


_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ เชาววิศิษฐ์)


_____ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ ไชวิทฺธิกิจ)

รจนา งามมิตรสมบุรณ์ : ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติพร้อมกันในกระบวนการโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายชั้นตอน (PROCESS FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS OF MULTIPLE SIMULTANEOUS FAULTS USING MULTI-STAGE HIERARCHICAL ARTIFICIAL NEURAL NETWORK) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วราภรณ์ เชาววิศิษฐ์, 96 หน้า
ISBN 974-333-763-6

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติพร้อมกันในกระบวนการโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายชั้นตอน(Multi-Stage Hierarchical Artificial Neural Network, MSHANN) เพื่อให้ตรวจพบความผิดปกติได้ตั้งแต่ในช่วงภาวะชั่วคราวของระบบ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสอนข่ายงานประสาท ทำให้สามารถวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นหลายแห่งพร้อมกันได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างที่ทำการศึกษาได้แก่ ระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง และระบบหอกลับแยกสารผสมสองชนิด ซึ่งทั้งสองระบบนี้มีช่วงเวลาเข้าที่ยาวนาน ผลการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่า MSHANN สามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติและความผิดปกติสองแห่งพร้อมกันได้ถูกต้อง ในขณะที่ระบบยังคงอยู่ในภาวะชั่วคราว

ในระบบหอกลับแยกสารผสมสองชนิด ยังได้มีการพัฒนาข่ายงานให้เพิ่มความสามารถที่นอกเหนือไปจากการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติ โดยสามารถบอกระดับขนาดต่างๆ กันของความผิดปกติเดียวและปรับแก้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบได้ตั้งแต่ในช่วงภาวะชั่วคราว จากผลการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า MSHANN สามารถบอกระดับขนาดของความผิดปกติที่พิจารณาได้ถูกต้องทุกแห่งตั้งแต่ในช่วงภาวะชั่วคราวของระบบ และสามารถปรับแก้ความผิดปกติบางแห่งที่เกิดขึ้นได้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต รจนา งามมิตรสมบุรณ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4170695921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS / MULTI-STAGE HIERARCHICAL ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

ROJANA NGAMMITSOMBOON : PROCESS FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS OF MULTIPLE SIMULTANEOUS FAULTS USING MULTI-STAGE HIERARCHICAL ARTIFICIAL NEURAL NETWORK. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VARAPORN JAOVISIDHA, Ph.D.
96 pp. ISBN 974-333-763-6

This thesis presents application of Multi-Stage Hierarchical Artificial Neural Network (MSHANN) in process fault detection and diagnosis. The advantages of using MSHANN are the ability to detect faults during transient period, the efficiency of training the artificial neural networks and the effectiveness of classification of the multiple simultaneous faults. From computer simulation using a model of a continuous stirred tank reactor (CSTR) and a model of a binary distillation column which have long settling time, MSHANN successfully detects and diagnoses single faults and double faults during transient period.

Furthermore, this thesis presents application of MSHANN not only in process fault detection and diagnosis, but also in fault identification (determination of the degree of fault) and fault accommodation (control reconfiguration) during transient period. The results from computer simulation using a binary distillation column show that MSHANN can detect, diagnose and identify every considered single fault during transient period, and some single faults accommodation can be achieved.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต สุจนา งามมิตรสมบูรณ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [Signature]
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ เชาววิศิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้โอกาสแก่ผู้วิจัยในการศึกษาระดับปริญญาโท และได้สละเวลาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยอย่างดียิ่งมาโดยตลอด อีกทั้งยังได้ให้คำแนะนำอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานในอนาคต ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุวลัย กลั่นความดี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ ไชวิทธุรกิจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้สละเวลาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และได้ให้คำชี้แนะอันเป็นประโยชน์ต่องานวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในสาขาระบบควบคุมที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้พื้นฐานในวิชาทางระบบควบคุม อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำงานวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาวและพี่ชายทุกๆ คน ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนด้านการเรียนของผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องในห้องทดลองระบบควบคุม และเพื่อนสนิทของผู้วิจัยทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ ช่วยคิดแก้ปัญหา และให้กำลังใจเพื่อให้ทำงานได้สำเร็จลุล่วง

ท้ายนี้ขอขอบคุณโครงการศิษย์ก้นกุฏิที่สนับสนุนในด้านการเงินตลอดเวลาที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์.....	9
1.3 ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์.....	9
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
2. การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติของระบบ.....	11
2.1 คำจำกัดความและลักษณะของความผิดปกติ.....	11
2.2 ส่วนประกอบของระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติ.....	11
2.3 วิธีการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบ.....	12
3. การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติหลายแห่งพร้อมกันในกระบวนการ โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอน(MSHANN).....	14
3.1 โครงสร้างของข่ายงานประสาท.....	14
3.2 ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้น.....	18
3.3 ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในช่วงภาวะชั่วคราวของระบบ.....	20
3.4 ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอน.....	22

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง	24
4.1 ระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	24
4.2 การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติของระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง	28
4.3 ผลการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์	36
4.4 สรุปและวิจารณ์	40
5. ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด	47
5.1 ระบบหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	47
5.2 การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติของระบบหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด	53
5.3 ผลการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์	66
5.4 สรุปและวิจารณ์	73
6. การตรวจพบ วินิจฉัยและบอกระดับขนาดของความผิดปกติในช่วงภาวะชั่วคราว ของระบบ โดยอาศัยข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายชั้นตอน	76
6.1 โครงสร้าง MSHANN และรูปแบบของการสอนเพื่อการวินิจฉัยและบอกระดับขนาด ของความผิดปกติ	77
6.2 การปรับแก้ความผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยอาศัยการปรับโครงสร้างของตัวควบคุม แบบ PI	78
6.3 ผลการทดลองกับระบบหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด โดยการจำลองระบบด้วย คอมพิวเตอร์	80
6.4 สรุปและวิจารณ์	89
7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	90
รายการอ้างอิง	93
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1	รูปแบบของความผิดพลาดที่ใช้สอนแต่ละข่ายงานใน HANN 19
ตารางที่ 4.1	ความผิดพลาดที่พิจารณาในระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง 27
ตารางที่ 4.2	ความยาวและความสูงของหน้าต่างเคลื่อนที่ของระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง 28
ตารางที่ 4.3	ชุดข้อมูลสัญญาณเข้าและสัญญาณออกที่ใช้สอนข่ายงานประสาทหุติยภูมิ(Net_0) ใน สภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดพลาดชนิดต่างๆ 29
ตารางที่ 4.4	ชุดข้อมูลสัญญาณเข้าและสัญญาณออกสำหรับสอน Net_4p 30
ตารางที่ 4.5	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของสัญญาณที่วัดได้ กรณีเกิดความผิดพลาดเดี่ยว F#2p และ F#3p เมื่อผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่และข่ายงานประสาทปฐุมภูมิ 32
ตารางที่ 4.6	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของสัญญาณที่วัดได้ กรณีเกิดความผิดพลาดเดี่ยว F#2n และ F#3n เมื่อผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่และข่ายงานประสาทปฐุมภูมิ 33
ตารางที่ 4.7	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของสัญญาณที่วัดได้เมื่อผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่ และข่ายงานประสาทปฐุมภูมิ กรณีเกิดความผิดพลาด F#1n พร้อมกับ F#2p และกรณีที่เกิด F#1n พร้อมกับ F#3p ณ ชั่วโมงที่ 2 34
ตารางที่ 4.8	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของสัญญาณที่วัดได้เมื่อผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่ และข่ายงานประสาทปฐุมภูมิ กรณีเกิดความผิดพลาด F#4p พร้อมกับ F#2n และกรณีที่เกิด F#4p พร้อมกับ F#3n ณ ชั่วโมงที่ 2 35
ตารางที่ 4.9	ผลการวินิจฉัยความผิดพลาดเดี่ยวของระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง ด้วย MSHANN และเวลาที่ตรวจพบ 38
ตารางที่ 4.10	ผลการวินิจฉัยความผิดพลาดสองแห่งพร้อมกันของระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง ด้วย MSHANN และเวลาที่ตรวจพบ 40
ตารางที่ 5.1	ความผิดพลาดที่พิจารณาในหอกลับ 52
ตารางที่ 5.2	ความยาวและความสูงของหน้าต่างเคลื่อนที่ของระบบหอกลับ 53
ตารางที่ 5.3	ชุดข้อมูลสัญญาณเข้าที่ใช้สอนข่ายงานประสาทหุติยภูมิ(Net_0) ในสภาวะปกติ และสภาวะที่เกิดความผิดพลาด 55
ตารางที่ 5.4	ชุดข้อมูลของสัญญาณออก(Target Output) สำหรับสอน Net_0 55
ตารางที่ 5.5	ชุดข้อมูลสัญญาณเข้าที่ใช้สอนข่ายงานประสาทหุติยภูมิ(Net_1) 58
ตารางที่ 5.6	ชุดข้อมูลของสัญญาณออกสำหรับสอน Net_1 58

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 5.7	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของสัญญาณที่วัดได้จากระบบกรณีเกิด ความผิดพลาดเดี่ยว F#1 20% และ F#4 30% เมื่อผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่ และรายงานประสาทปฐมภูมิ.....	60
ตารางที่ 5.8	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของสัญญาณที่วัดได้จากระบบกรณีเกิด ความผิดพลาดเดี่ยว F#2 25% และ F#3 30% เมื่อผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่ และรายงานประสาทปฐมภูมิ.....	61
ตารางที่ 5.9	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันในช่วงแรกของสัญญาณที่วัดได้จากระบบ เมื่อผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่และรายงานประสาทปฐมภูมิ กรณีเกิดความผิดพลาด พร้อมกันสองแห่ง.....	65
ตารางที่ 5.10	ผลการวินิจฉัยความผิดพลาดเดี่ยวของหอกลับด้วย MSHANN	67
ตารางที่ 5.11	ผลการวินิจฉัยความผิดพลาดพร้อมกันสองแห่งของหอกลับด้วย MSHANN	67
ตารางที่ 6.1	รูปแบบของข้อมูลสัญญาณเข้าและสัญญาณออกสำหรับสอน Net_1 ถึง Net_8 เพื่อบอกระดับขนาดของความผิดพลาด.....	81
ตารางที่ 6.2	ผลการตรวจพบ วินิจฉัยและบอกระดับขนาดของความผิดพลาด.....	82

สารบัญญภาพ

		หน้า
รูปที่ 3.1	ช่างงานประสาธ.....	15
รูปที่ 3.2	การปรับค่าน้ำหนักด้วยการสอนแบบดูแล และการสอนแบบไม่ดูแล.....	15
รูปที่ 3.3	การเชื่อมโยงแบบช่างงานประสาธแบบป้อนไปข้างหน้า.....	16
รูปที่ 3.4	ช่างงานประสาธเดี่ยว(SANN).....	17
รูปที่ 3.5	โครงสร้างของช่างงานประสาธแบบลำดับชั้น (HANN).....	19
รูปที่ 3.6	โครงสร้างของช่างงานประสาธสองชั้นตอน.....	20
รูปที่ 3.7	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้า 3 รูปแบบ ที่ใช้ในการสอนช่างงานประสาธปฐมภูมิ.....	21
รูปที่ 3.8	แผนภาพอธิบายหลักการทำงานของช่างงานประสาธสองชั้นตอน.....	21
รูปที่ 3.9	โครงสร้างของช่างงานประสาธแบบลำดับชั้นหลายชั้นตอน.....	23
รูปที่ 4.1	แผนภาพระบบดังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง.....	25
รูปที่ 4.2	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้กรณีเกิดความผิดพลาดเดี่ยว F#2p และ F#3p ณ ชั่วโมงที่ 2.....	32
รูปที่ 4.3	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้กรณีเกิดความผิดพลาดเดี่ยว F#2n และ F#3n ณ ชั่วโมงที่ 2.....	33
รูปที่ 4.4	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้กรณีเกิดความผิดพลาด F#1n พร้อมกับ F#2p และกรณีที่เกิด F#1n พร้อมกับ F#3p ณ ชั่วโมงที่ 2.....	34
รูปที่ 4.5	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้กรณีเกิดความผิดพลาด F#4p พร้อมกับ F#2n และกรณีที่เกิด F#4p พร้อมกับ F#3n ณ ชั่วโมงที่ 2.....	35
รูปที่ 4.6	สัญญาณเตือนจาก Net_0 กรณีเกิด F#3p 1% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	41
รูปที่ 4.7	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#3p 1% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	41
รูปที่ 4.8	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดพลาดจาก Net_3p กรณีเกิด F#3p 5% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	42
รูปที่ 4.9	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#3p 5% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	42
รูปที่ 4.10	สัญญาณเตือนจาก Net_0 กรณีเกิด F#4n 1% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	43
รูปที่ 4.11	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#4n 1% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	43
รูปที่ 4.12	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดพลาดจาก Net_4n กรณีเกิด F#4n 4% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	44
รูปที่ 4.13	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#4n 4% ณ ชั่วโมงที่ 1.....	44

สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดปกติจาก Net_4n กรณีเกิด F#1p 20% และ F#2p 20% ณ ชั่วโมงที่ 0.4	45
รูปที่ 4.15	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#1p 20% และ F#2p 20% ณ ชั่วโมงที่ 0.4	45
รูปที่ 4.16	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดปกติจาก Net_4p กรณีเกิด F#2n 25% และ F#4p 5% ณ ชั่วโมงที่ 0.4	46
รูปที่ 4.17	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#2n 25% และ F#4p 5% ณ ชั่วโมงที่ 0.4	46
รูปที่ 5.1	แผนภาพหอกลับ	50
รูปที่ 5.2	วงควบคุมป้อนกลับของระบบหอกลับแยกสารผสมสองชนิดที่พิจารณา	52
รูปที่ 5.3	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้ในระบบเมื่อเกิด F#2 ณ นาทีที่ 2 และแนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ออกจากข่ายงานประสาทปฐมภูมิ	56
รูปที่ 5.4	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้จากระบบกรณีเกิดความผิดปกติ F#1 20% และ F#4 30% ณ นาทีที่ 10	60
รูปที่ 5.5	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้จากระบบกรณีเกิดความผิดปกติ F#2 25% และ F#3 30% ณ นาทีที่ 5	61
รูปที่ 5.6	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้จากระบบกรณีเกิดความผิดปกติ F#2 25% และกรณีเกิด F#2 20% พร้อมกับ F#3 30% ณ นาทีที่ 5	62
รูปที่ 5.7	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้กรณีเกิดความผิดปกติ F#5 20% พร้อมกับ F#1 15% และ F#5 25% พร้อมกับ F#4 25% ณ นาทีที่ 5	63
รูปที่ 5.8	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้กรณีเกิดความผิดปกติ F#8 30% พร้อมกับ F#2 25% และ F#8 35% พร้อมกับ F#3 30% ณ นาทีที่ 5	64
รูปที่ 5.9	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดปกติ F#3 ที่ออกจาก การดำเนินการออร์ กรณี F#3 : 6% ณ นาทีที่ 5 และ 15% ณ นาทีที่ 50	69
รูปที่ 5.10	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#3 6% ณ นาทีที่ 5 และ 15% ณ นาทีที่ 50	69
รูปที่ 5.11	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดปกติ F#5 ที่ออกจาก การดำเนินการออร์ กรณี F#5 : 5% ณ นาทีที่ 5 และ 20% ณ นาทีที่ 70	70
รูปที่ 5.12	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ กรณี F#5 5% ณ นาทีที่ 5 และ 20% ณ นาทีที่ 70	70

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.13	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดปกติ F#1 และ F#4 ที่ออกจากการดำเนินการออร์ กรณีเกิด F#1 7% พร้อมกับ F#4 8% ณ นาทีที่ 5 และเกิด F#1 20% พร้อมกับ F#4 40% ณ นาทีที่ 50.....	71
รูปที่ 5.14	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้จากระบบ กรณีเกิด F#1 และ F#4 พร้อมกัน.....	71
รูปที่ 5.15	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดปกติ F#2 และ F#7 ที่ออกจากการดำเนินการออร์ กรณีเกิด F#2 30% พร้อมกับ F#7 30% ณ นาทีที่ 3.....	74
รูปที่ 5.16	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้จากระบบ กรณีเกิด F#2 30% พร้อมกับ F#7 30% ณ นาทีที่ 3.....	74
รูปที่ 5.17	สัญญาณเตือนจาก Net_0 และสัญญาณเตือนความผิดปกติ F#6 และ F#8 ที่ออกจากการดำเนินการออร์ กรณีเกิด F#6 37% พร้อมกับ F#8 26% ณ นาทีที่ 7.....	75
รูปที่ 5.18	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้จากระบบ กรณีเกิด F#6 37% พร้อมกับ F#8 26% ณ นาทีที่ 7.....	75
รูปที่ 6.1	โครงสร้างของรายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายชั้นตอน(MSHANN) สำหรับการบอกระดับของความผิดปกติ.....	78
รูปที่ 6.2	แผนภาพของระบบตรวจพบ วินิจฉัย และแก้ไขความผิดปกติเดี่ยวของหอกลับ.....	79
รูปที่ 6.3	ความเข้มข้นของสารที่ฐานหอ.....	80
รูปที่ 6.4	ความเข้มข้นของสารที่ยอดหอ.....	80
รูปที่ 6.5	สัญญาณเตือนความผิดปกติที่ออกจากระบบ Net_0 และสัญญาณบอกระดับขนาดที่ออกจากระบบ Net_1 และการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่างๆ ที่วัดได้จากระบบ กรณีเกิด F#1 30% (ระดับ 2) ณ นาทีที่ 2.....	83
รูปที่ 6.6	สัญญาณเตือนความผิดปกติที่ออกจากระบบ Net_0 และสัญญาณบอกระดับขนาดที่ออกจากระบบ Net_4 และการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่างๆ ที่วัดได้จากระบบ กรณีเกิด F#4 12% (ระดับ 1) ณ นาทีที่ 1.....	84
รูปที่ 6.7	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ x_B และ x_D กรณีที่เกิด F#8 20% และ 25%.....	85
รูปที่ 6.8	สัญญาณเตือนบอกระดับขนาดความผิดปกติ เมื่อเกิด F#8 23%.....	86
รูปที่ 6.9	ผลการตรวจพบ วินิจฉัย บอกระดับขนาด และปรับแก้ไขตัวควบคุม เมื่อเกิด F#5 50%.....	87
รูปที่ 6.10	ผลการตรวจพบ วินิจฉัย บอกระดับขนาด และปรับแก้ไขตัวควบคุม เมื่อเกิด F#7 27%.....	88