

การหาค่าความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่าย
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

PEA DISTRIBUTION RELIABILITY (SAIFI, SAIDI) DETERMINATION
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

เกียรติศักดิ์ แก้วมณี

KEATTISAK KAEWMANEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของกรณีศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2187-5

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาค่าความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่าย
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

PEA DISTRIBUTION RELIABILITY (SAIFI, SAIDI) DETERMINATION
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS



เกียรติศักดิ์ แก้วมณี

KEATTISAK KAEWMANEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2137-5

**PEA DISTRIBUTION RELIABILITY (SAIFI, SAIDI) DETERMINATION
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

KEATTISAK KAEWMANEE

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2137-5

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาค่าความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
นักศึกษา	นายเกียรติศักดิ์ แก้วมณี
รหัสนักศึกษา	46060326
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องที่ใช้ในบทความนี้ได้มาจาก Reliability Program โดยยกตัวอย่างการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย ฟีดเดอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี และในระบบจำหน่ายจำนวน 7 ฟีดเดอร์ (1, 3, 4, 5, 6, 9, 10) สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม 2547 ถึง กรกฎาคม 2547 สามตัวแปรอินพุตที่นำมาพิจารณาถึงผลกระทบต่อค่าความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ได้แก่ จำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน (ราย), จำนวนครั้งที่เกิดไฟดับ (ครั้ง/เดือน) และระยะเวลาที่ไฟดับ (นาที/เดือน) จากผลการทดสอบแสดงถึงการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่คำนวณค่า คำนวณค่าความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ที่ถูกต้องและรวดเร็ว

Thesis Title	PEA Distribution Reliability (SAIFI, SAIDI) Determination Using Artificial Neural Networks
Student	Mr.Keattisak Kaewmanee
Student ID.	46060326
Degree	Master Degree
Programme	Electrical Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Asist.Prof.Dr.Somchat Jiriwibhakorn

ABSTRACT

This paper purpose the methodology of SAIFI and SAIDI determination in distribution network of provincial electricity authority (PEA) using artificial neural networks(ANNs). The ANNs for training and testing use data from Reliability Program. For example reliability determination used data feeder2, 7 of Phatthana-nikhom substation in Lopburi province and seven feeder(1, 3, 4, 5, 6, 9, 10) of Uthai-thani substation in Uthai-thani province between January 2004 to July 2004. The three inputs of ANNs for reliability indices (SAIFI, SAIDI) consist of number of customers behind protective equipment, interruption frequency of protective equipment per month and total time interruption per month. The results show that designed ANNs can estimate the SAIFI, SAIDI promptly and correctly.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งจากอาจารย์ผู้ควบคุม
วิทยานิพนธ์ ศศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร ที่ได้ให้ความรู้, คำแนะนำ และคำปรึกษาต่าง ๆ ในการทำ
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งข้าพเจ้าต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์, ศศ.ดร.ยุทธนา กิจใจเดียว กรรมการ
สอบหัวข้อและโครงสร้างวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณตระการ วราณัฐันติกุล แผนกควบคุมการจ่ายไฟ กองควบคุมและ
บำรุงรักษา ฝ่ายปฏิบัติการและเครือข่าย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 (ภาคเหนือ) จ.ลพบุรี ที่ให้
ความช่วยเหลือในเรื่องของข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของข้าพเจ้า ที่ได้ช่วยเป็นกำลังใจให้กับ
ข้าพเจ้าในการศึกษาตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็น
ที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และ
ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

เกียรติศักดิ์ แก้วมณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย.....	5
2.1 ทฤษฎีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย.....	5
2.1.1 เทอมพื้นฐาน.....	5
2.1.2 ดัชนีการเกิดไฟฟ้าดับแบบต่อเนื่อง (Sustained interruption indices).....	6
2.1.3 ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับโหลด (Load based indices).....	8
2.1.4 ดัชนีอื่นๆ (ไฟฟ้าดับชั่วขณะ).....	9
2.2 ผลการสำรวจการใช้ค่าดัชนี.....	10
2.3 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	11
2.4 อุปกรณ์ป้องกันที่มีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้.....	11
2.4.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker).....	12
2.4.2 รีโคลสเซอร์ (Recloser).....	13
2.4.3 ครอบเอาต์ ฟิวส์ คัทเอาต์ (Dropout fuse cutout).....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การประยุกต์ใช้งานดัชนี.....	15
2.6 รูปแบบของการบำรุงรักษา.....	17
บทที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียม.....	19
3.1 ประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม.....	19
3.2 โครงข่ายประสาทชีวภาพ.....	24
3.2.1 นิวรอน.....	24
3.2.2 โครงสร้างของนิวรอนและไซแนปส์.....	24
3.2.3 การส่งผ่านกระแสประสาท.....	25
3.3 โครงข่ายประสาทเทียม.....	27
3.3.1 คุณสมบัติและความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม.....	28
3.3.2 ลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียม.....	28
3.4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม(Architectures of Neural Networks).....	29
3.4.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว(Single Layer Neural Networks).....	29
3.4.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น(Multi Layer Neural Network).....	30
3.5 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก.....	31
3.5.1 การเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Learning).....	32
3.5.2 การเรียนรู้แบบอิสระ(Unsupervised Learning).....	32
3.6 ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function).....	33
3.7 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation Neural Network (BP)	37
3.7.1 แพร่ค่าไปข้างหน้า (Forward Propagation).....	38
3.7.2 แพร่ค่าย้อนกลับของค่าผิดพลาด (Back Propagation of Error).....	39
3.7.3 ขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และค่าไบอัส (bias).....	41
3.8 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Radial Basic Function Neural Network (RBF).....	44
3.9 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression Neural Network (GRNN).....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การใช้ โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณค่า SAIFI, SAIDI.....	48
4.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม.....	48
4.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่นำมาเป็นข้อมูลอินพุต.....	49
4.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง.....	55
4.4 การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน.....	57
4.5 ขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP.....	82
4.6 ขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN.....	85
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	89
5.1 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง เฟดเดอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนาคิม.....	94
5.2 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง เฟดเดอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนาคิม.....	100
5.3 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี.....	106
5.4 ผลการทดลองปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้า อุทัยธานี.....	116
5.5 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานีโดยการปรับสมการ RBF ให้กราฟมีลักษณะอ้วนขึ้น, ผอมลง.....	122
5.6 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยการปรับสมการ RBF ให้กราฟมีลักษณะเลือนซ้าย, ขวา.....	132
บทที่ 6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	136
เอกสารอ้างอิง.....	139

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	140
ประวัติผู้เขียน.....	148

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าเป้าหมายและค่าจริงที่ได้ในการประเมินค่า SAIFI, SAIDI และ CAIDI ของ กฟภ.....	11
2.2 ตัวอย่างข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ในช่วงเดือนมกราคม 2547.....	15
2.3 ผลการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI และ CAIDI ของอุปกรณ์ป้องกันในฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ในช่วงเดือนมกราคม 2547.....	16
2.4 ตัวอย่างการบำรุงรักษาแบบป้องกันและแบบแก้ไข.....	18
3.1 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง.....	22-23
3.2 แสดงชนิดฟังก์ชันกระตุ้น.....	34-36
4.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่า Correlation ระหว่างจำนวนผู้ใช้หลังอุปกรณ์ป้องกัน และค่า SAIFI ของระบบจำหน่ายฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	51-52
4.2 สรุปผลการคำนวณค่า Correlation ระหว่างข้อมูลอินพุต และเอาต์พุต (SAIFI, SAIDI) ของ ฟีดเดอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม และสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี.....	54
4.3 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIFI.....	58-59
4.4 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIDI.....	60-61
4.5 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIFI.....	63-64
4.6 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIDI.....	65-66
4.7 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIFI.....	68-73
4.8 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIDI.....	75-80
4.9 แสดงสมการ Radial Basis Function สำหรับการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด Generalized Regression.....	87-88
5.1 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP คำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.2 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	97
5.3 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	100
5.4 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	103
5.5 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี.....	106-108
5.6 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี.....	111-113
5.7 ผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนสำหรับทดสอบค่า SAIFI สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer functions = tansig - purelin - purelin.....	116-117
5.8 ผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนสำหรับทดสอบค่า SAIDI สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer functions = tansig - purelin - purelin.....	119-120
5.9 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-n^2}$	122
5.10 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-0.5n^2}$	123
5.11 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-1.5n^2}$	124
5.12 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-2n^2}$	125
5.13 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-n^2}$	127
5.14 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-0.5n^2}$	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.15 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-1.5n^2}$	129
5.16 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-2n^2}$	130
5.17 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยการปรับสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ ให้กราฟเลื่อนซ้าย, ขวา.....	132
5.18 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยการปรับสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ ให้กราฟเลื่อนซ้าย, ขวา.....	134

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปรอ์เซ็นต์การใช้ค่าตรวจในปี 1990 (49 บริษัทที่มีรายงาน จากจำนวนผู้จ่ายไฟ 100 บริษัท).....	10
2.2 เปรอ์เซ็นต์การใช้ค่าตรวจในปี 1995 เทียบกับปี 1997.....	10
2.3 ลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Indoor.....	12
2.4 ลักษณะของรีโคลสเซอร์กิตที่ตั้งในระบบจำหน่าย.....	13
2.5 ลักษณะของ Dropout fuse cutout.....	14
2.6 ลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	15
3.1 แสดงตัวอย่างของนิวรอนชนิดที่มีสองขั้ว.....	24
3.2 แสดงโครงสร้างของประสาท.....	25
3.3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม.....	27
3.4 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	29
3.5 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	30
3.6 แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน.....	37
3.7 แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF.....	44
3.8 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN.....	47
4.1 ลักษณะของโปรแกรมบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าขัดข้อง.....	48
4.2 แสดงค่า Correlation ที่มีค่า $-1 < r < 1$	50
4.3 แสดงผลการคำนวณค่า Correlation ระหว่างข้อมูลอินพุต และ SAIFI ของ ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ด้วยโปรแกรม MINITAB.....	53
4.4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า (ก)SAIFI, (ข) SAIDI.....	55
4.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN สำหรับคำนวณค่า (ก)SAIFI, (ข)SAIDI.....	56
4.6 ลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	57
4.7 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม เพื่อคำนวณค่า SAIFI.....	59
4.8 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม เพื่อคำนวณค่า SAIDI.....	61
4.9 ลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม.....	62

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม เพื่อคำนวณค่า SAIFI.....	64
4.11 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม เพื่อคำนวณค่า SAIDI.....	66
4.12 ลักษณะการจ่ายไฟ ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี.....	67
4.13 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานีเพื่อคำนวณค่า SAIFI..	74
4.14 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานีเพื่อคำนวณค่า SAIDI..	81
4.15 แสดงขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI.....	82-84
4.16 แสดงขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดGeneralized Regression สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI.....	85-86
5.1 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ด้วย Transfer Functions : purelin - tansig - purelin.....	95
5.2 แผนภูมิแสดงค่า SAIFI ของ ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ด้วย Transfer Functions = purelin - tansig - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	96
5.3 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ด้วย Transfer Functions : purelin - tansig - purelin	98
5.4 แผนภูมิแสดงค่า SAIFI ของ ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ด้วย Transfer Functions : purelin - tansig - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	99
5.5 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin - purelin.....	101
5.6 แผนภูมิแสดงค่า SAIDI ของ ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	102

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin - purelin.....	104
5.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ของ ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	105
5.9 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer Functions : tansig - purelin - purelin.....	104
5.10 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIFI ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer Functions : tansig - purelin - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	110
5.11 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP สำหรับคำนวณค่า ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย SAIDI Transfer Functions : tansig - purelin - purelin.....	114
5.12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer Functions : tansig - purelin - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	115
5.13 ผลการทดสอบค่า คัดชนี SAIFI ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP ใช้ Transfer Functions : tansig - purelin - purelin.....	118
5.14 ผลการทดสอบค่า คัดชนี SAIDI ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP ใช้ Transfer Functions : tansig - purelin - purelin.....	121
5.15 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	126
5.16 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	131
5.17 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการ $a(n) = e^{-(n^2+2n+1)}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	133

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18	แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี
	ด้วยสมการ $a(n) = e^{-(n^2+4n+4)}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง.....135

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากระบบจำหน่ายที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จำนวนกว่า 380 สถานีนั้น มีแนวสายพาดผ่านเกือบทั่วทุกจังหวัดของประเทศไทย ยกเว้นจังหวัดกรุงเทพฯ, นนทบุรี และสมุทรปราการ การบำรุงรักษาระบบจำหน่ายเชิงป้องกันของ กฟภ. จึงมีปริมาณงานที่มากและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาถึงการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายของ กฟภ. บางอุปกรณ์ก็ทำงานมากบางอุปกรณ์ก็ทำงานน้อย ซึ่งแต่ละอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานมีผลกระทบกับจำนวนผู้ใช้ไฟต่างกัน เกณฑ์การชี้วัดประสิทธิภาพการจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟที่การไฟฟ้าส่วนภูมิกานำมาใช้คือ ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ซึ่งค่า SAIFI คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งไฟดับต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย และ SAIDI คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาไฟดับต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย การวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายด้วยเงื่อนไขงบประมาณที่มีอยู่จำกัด และสามารถลดไฟฟ้าขัดข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงควรมีการพิจารณาถึงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่าย ด้วย

การใช้แนวทางโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ในการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายหลังอุปกรณ์ป้องกันของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยการใช้ Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB 6.5 ทดลองให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ความสัมพันธ์ของค่า SAIFI, SAIDI ที่แต่ละอุปกรณ์ป้องกัน กับ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ, จำนวนครั้งที่ไฟดับ/เดือน และระยะเวลารวมทั้งไฟดับ/เดือน เพื่อให้สามารถหาค่า SAIFI, SAIDI ที่แต่ละอุปกรณ์ป้องกันได้อย่างถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาวิธีการในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาและออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อนำมาใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายแรงสูง โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าดัชนี SAIFI และ ค่าดัชนี SAIDI
3. เพื่อศึกษาผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบใดจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง, แม่นยำ มากที่สุด
4. นำผลที่ได้จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียม มาเป็นข้อมูลในการวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายแรงสูงเพื่อให้มีความเชื่อถือได้สูงสุด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาวิจัยโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาทำการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้(SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ฟังก์ชันต่อเนื่องแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างแม่นยำ โครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ Back Propagation (BP) และ General Regression Neural Network (GRNN) โดยได้ยกตัวอย่างการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายพีคเตอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จ.ลพบุรี จากนั้นก็คำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายที่ใหญ่ขึ้น คือ ระบบจำหน่ายทั้ง 7 พีคเตอร์ (1, 3, 4, 5, 6, 9, 10) ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี โดยข้อมูลที่ได้มาจาก Reliability Program [1] ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation มีประสิทธิภาพในการฝึกสอนค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI, SAIDI ได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation นั้นสามารถทำการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันกระตุ้น(Transfer Function) และมีการป้อนค่า error ย้อนกลับเพื่อปรับค่า weights และ biases ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลที่ซับซ้อนมากกว่า ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ได้มีการนำทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ การวิจัยฉบับนี้ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

1. ทฤษฎีทางสถิติ ได้แก่ การใช้วิธี Correlation ในการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต กับเอาต์พุต (SAIFI, SAIDI) ก่อนเลือกตัวแปรอินพุตที่จะใช้ฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียม
2. ทฤษฎีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย ได้แก่ การนำข้อมูลเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องที่ได้จาก Reliability Program ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มาทำการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI)
3. ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ การนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation และชนิด Generalized Regression มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI)

ค่า SAIFI, SAIDI ที่ได้จากการคำนวณด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณแล้วควรมีค่า mape ที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมที่ได้นั้นมีความแม่นยำ สามารถคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ครั้งละจำนวนมากๆ และเปรียบเทียบกันได้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงที่เกิดขึ้นจริงและได้บันทึกไว้ที่ Reliability Program ข้อมูลที่นำมาใช้คือข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของ ฟีดเดอร์ 2, ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี และ ข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี ทุกฟีดเดอร์ที่มีการจ่ายไฟ (ฟีดเดอร์ 1, 3, 4, 5, 6, 9, 10) ช่วงระหว่างเดือน มกราคม 2547 ถึง กรกฎาคม 2547

2. ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ที่ทำการศึกษานี้ใช้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI (System average interruption frequency index) และ ค่าดัชนี SAIDI (System average interruption duration index)

3. โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดสอบ ใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation และโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression และเปรียบเทียบโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสอง

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีความน่าเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย
2. ศึกษาสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดการเรียนรู้แบบ Back Propagation
3. ศึกษาการใช้งาน Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB 6.5
4. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI)
5. จัดเตรียมชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยทำการทดลองจากข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าพัฒนานิคมฟีดเดอร์ 2, 7
6. ทดลองฝึกสอนและทดสอบประสิทธิภาพด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
7. เปรียบเทียบความถูกต้องของการหาค่าความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) จากข้อมูลทดสอบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าที่ได้จากวิธีการคำนวณ
8. จัดเตรียมชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบที่ใหญ่ขึ้น โดยยกตัวอย่างข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ทั้งสถานี
9. ศึกษาสถาปัตยกรรมและการใช้งานของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดGRNN (General Regression Neural Network)
10. ทดลองฝึกสอนและทดสอบประสิทธิภาพด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดBP และชนิด GRNN
11. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP และชนิด GRNN

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ให้มีค่าที่แม่นยำ สามารถคำนวณค่าได้ครั้งละมากๆ และเปรียบเทียบกันได้
2. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) เป็นวิธีการหนึ่งที่สะดวกและรวดเร็วต่อการใช้งาน และนำค่าที่ได้มาใช้นั้นใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์, วางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเดือนถัดไปได้

บทที่ 2

ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย

2.1 ทฤษฎีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย [2, 3]

2.1.1 เทอมพื้นฐาน ใช้สำหรับการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้แก่

i = เหตุการณ์ลำดับที่ ที่เกิดไฟดับ

r_i = เวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับเข้ามาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟดับแต่ละเหตุการณ์

E = เหตุการณ์

T = ทั้งหมด

IM_i = จำนวนครั้งที่เกิดไฟดับชั่วคราว

IM_E = จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดไฟดับชั่วคราว

N_i = จำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์ ในช่วงระยะเวลาของการบันทึกค่ารายงาน

NM_i = จำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับชั่วคราวในแต่ละเหตุการณ์ ในช่วงระยะเวลาของการบันทึกค่ารายงาน

N_T = จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด

L_i = จำนวนโหลดเป็น kVA ที่ถูกระบบทั้งหมดเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟดับ

L_T = จำนวนโหลดเป็น kVA ทั้งหมดที่ต่ออยู่

CN = จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟดับต่อเนื่อง ในช่วงเวลาของการบันทึกรายงาน

$CNT_{(k>n)}$ = จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟดับต่อเนื่องและไฟดับชั่วคราว มากกว่า n ครั้ง ในช่วงเวลาของการบันทึกรายงาน

k = จำนวนครั้งของการเกิดไฟดับที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟรายเดียว ในช่วงเวลาของการบันทึกรายงาน

2.1.2 ดัชนีการเกิดไฟฟ้าดับแบบต่อเนื่อง (Sustained interruption indices)

2.1.2.1 System average interruption frequency index (SAIFI) หมายถึงค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งไฟดับต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย มีหน่วยเป็น ครั้ง/ราย/ระยะเวลา (เดือน/ปี)

$$\begin{aligned}
 \text{SAIFI} &= \frac{\sum \text{Total Number of Customers Interrupted}}{\text{Total Number of Customers Served}} \\
 &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\
 &= \frac{\sum N_i}{N_T} \tag{2.1}
 \end{aligned}$$

2.1.2.2 System average interruption duration index (SAIDI) หมายถึงค่าเฉลี่ยระยะเวลาไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้า 1 ราย มีหน่วยเป็น นาที/ราย/ระยะเวลา (เดือน/ปี)

$$\begin{aligned}
 \text{SAIDI} &= \frac{\sum \text{Customer Interruption Duration}}{\text{Total Number of Customers Served}} \\
 &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์ คูณ เวลาที่เกิดไฟดับ}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\
 &= \frac{\sum N_i r_i}{N_T} \tag{2.2}
 \end{aligned}$$

2.1.2.3 Customer average interruption duration index (CAIDI) หมายถึงค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการนำไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบให้กับผู้ใช้ไฟ

$$\begin{aligned}
 \text{CAIDI} &= \frac{\sum \text{Customer Interruption Duration}}{\text{Total Number of Customers Interrupted}} \\
 &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์ คูณ เวลาที่เกิดไฟดับ}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟดับ}} \\
 &= \frac{\sum N_i r_i}{\sum N_i} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}} \tag{2.3}
 \end{aligned}$$

2.1.2.4 Customer total average interruption duration index (CTAIDI) หมายถึงค่าเฉลี่ย เวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้ไฟไม่มีไฟใช้หรือไฟดับในช่วงเวลาของการบันทึก คำนี้นี้เป็นค่าผสมของค่า CAIDI และจำนวนในลักษณะเดียวกัน เว้นแต่ผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับหลายครั้ง ในช่วงเวลาของการ บันทึกจะนับเป็นหนึ่งครั้งเท่านั้น

$$\begin{aligned}
 \text{CTAIDI} &= \frac{\sum \text{Customer Interruption Duration}}{\text{Total Number of Customers Interrupted}} \\
 &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์ คูณ เวลาที่เกิดไฟดับ}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟฟ้าดับในช่วงเวลาที่สนใจ}} \\
 &= \frac{\sum N_i r_i}{CN} \tag{2.4}
 \end{aligned}$$

2.1.2.5 Customer average interruption frequency index (CAIFI) หมายถึง ค่าเฉลี่ยความถี่ ของการเกิดไฟดับแบบต่อเนื่อง สำหรับผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับแบบต่อเนื่อง และผู้ใช้ไฟแต่ละรายจะ นับเป็น 1 ไม่ว่าจะเกิดไฟดับกี่ครั้งกับผู้ใช้ไฟรายนั้น

$$\begin{aligned}
 \text{CAIFI} &= \frac{\sum \text{Total Number of Customer Interrupted}}{\text{Total Number of Customers Interrupted}} \\
 &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟฟ้าดับในช่วงเวลาที่สนใจ}} \\
 &= \frac{\sum N_i}{CN} \tag{2.5}
 \end{aligned}$$

2.1.2.6 Average service availability index (ASAI) หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ผู้ใช้ไฟมีไฟฟ้าใช้ใน 1 ปี หรือช่วงเวลาที่กำหนด

$$\begin{aligned}
 \text{ASAI} &= \frac{\text{Customer Hours Service Availability}}{\text{Customer Hours Service Demands}} \\
 &= \frac{\text{จำนวนชั่วโมงที่มีให้สำหรับจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟ}}{\text{จำนวนชั่วโมงที่ต้องการของผู้ใช้ไฟ}} \\
 &= \frac{N_T x (\text{Number of hours / yr}) - \sum N_i r_i}{N_T x (\text{Number of hours / yr})} \tag{2.6}
 \end{aligned}$$

2.1.2.7 Customers experiencing multiple sustained interruption and momentary interruption events (CEMSMI_n)

$$\begin{aligned}
 \text{CEMSMI}_n &= \frac{\text{Total Number of Customers that Experience More Than } n \text{ Sustained Interruptions}}{\text{Total Number of Customers Served}} \\
 &= \frac{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟดับต่อเนื่องมากกว่า } n \text{ ครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\
 &= \frac{CNT_{(K>n)}}{N_T} \tag{2.7}
 \end{aligned}$$

2.1.3 ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับโหลด (Load based indices)

2.1.3.1 Average system interruption frequency index (ASIFI) หมายถึง ค่าความเชื่อถือได้ขึ้นกับโหลด แทนที่จะขึ้นกับจำนวนผู้ใช้ไฟ ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญกับบริเวณที่มีผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่เป็นโรงงานอุตสาหกรรม และย่านธุรกิจ

$$\begin{aligned}
 \text{ASIFI} &= \frac{\sum \text{Total Connected kVA of Load Interrupted}}{\text{Total Connected kVA Served}} \\
 &= \frac{\text{จำนวน kVA ที่เกิดไฟดับ}}{\text{จำนวน kVA ทั้งหมด}} \\
 &= \frac{\sum L_i}{L_T} \tag{2.8}
 \end{aligned}$$

2.1.3.2 Average system interruption duration index (ASIDI) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เกิดไฟดับของระบบ

$$\begin{aligned}
 \text{ASIDI} &= \frac{\sum \text{Connected kVA Duration of Load Interrupted}}{\text{Total Connected kVA Served}} \\
 &= \frac{\text{ช่วงเวลาของ kVA ที่เกิดไฟดับ}}{\text{จำนวน kVA ทั้งหมด}} \\
 &= \frac{\sum r_i L_i}{L_T} \tag{2.9}
 \end{aligned}$$

2.1.4 ดัชนีอื่นๆ (ไฟฟ้าดับชั่วขณะ)

2.1.4.1 Momentary average interruption frequency index (MAIFI) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความถี่ที่เกิดไฟฟ้าดับชั่วขณะ

$$\begin{aligned}
 \text{MAIFI} &= \frac{\sum \text{Total Number of Customer Momentary Interruptions}}{\text{Total Number of Customers Served}} \\
 &= \frac{\text{จำนวนครั้งทั้งหมดของการเกิดไฟฟ้าดับชั่วขณะของผู้ใช้ไฟ}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\
 &= \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} \tag{2.10}
 \end{aligned}$$

2.1.4.2 Momentary average interruption even frequency index (MAIFI_E) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความถี่ที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับชั่วขณะ

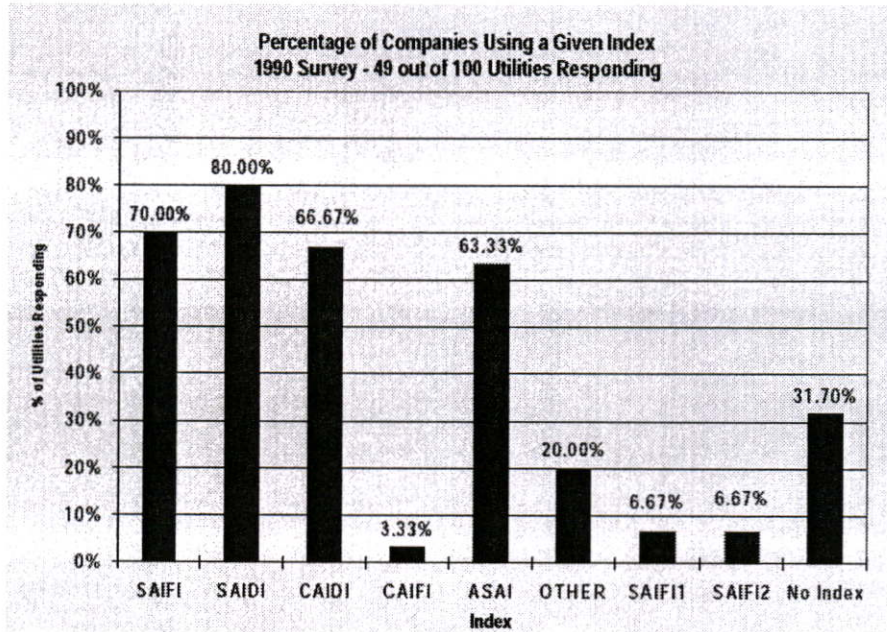
$$\begin{aligned}
 \text{MAIFI}_E &= \frac{\sum \text{Total Number of Customer Momentary Interruption Events}}{\text{Total Number of Customers Served}} \\
 &= \frac{\text{จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดของการเกิดไฟดับของผู้ใช้ไฟ}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\
 &= \frac{\sum IM_E N_{mi}}{N_T} \tag{2.11}
 \end{aligned}$$

2.1.4.3 Customers experiencing multiple sustained interruption and momentary interruption events (CEMSMI_n)

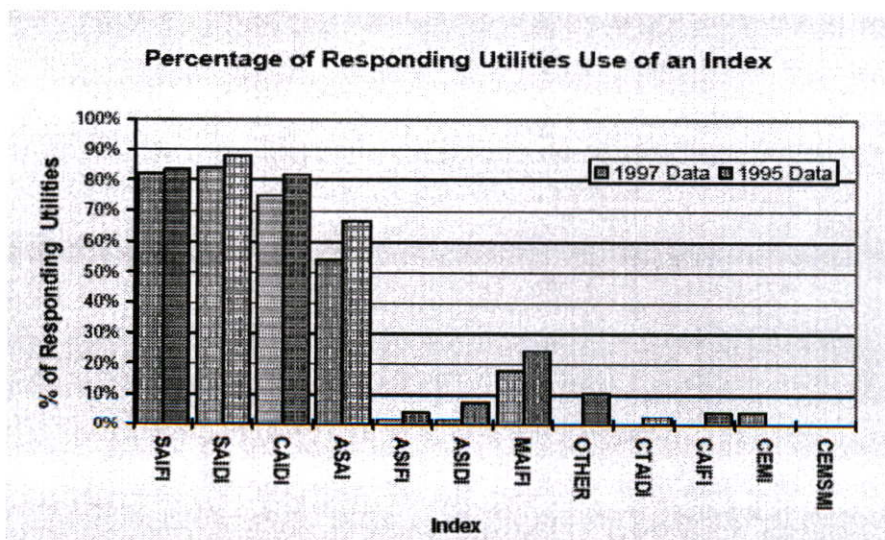
$$\begin{aligned}
 \text{CEMSMI}_n &= \frac{\text{Total Number of Customers Experience More Than } n \text{ interruptions}}{\text{Total Number of Customers Served}} \\
 &= \frac{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟดับมากกว่า } n \text{ ครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\
 &= \frac{CNT_{(K>n)}}{N_T} \tag{2.12}
 \end{aligned}$$

2.2 ผลการสำรวจการใช้ค่าดัชนี [2]

ในสหรัฐอเมริกาได้มีการสำรวจว่า การไฟฟ้าหรือผู้จ่ายไฟใช้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่กล่าวถึงมานี ว่ามีการใช้มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลสำรวจพบว่า ค่าดัชนีที่มีการใช้มากที่สุดเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ SAIDI, SAIFI, CAIDI และ ASAI โดยดัชนีอื่นๆ ก็มีใช้เช่นเดียวกัน แต่ก็ยังน้อยกว่าค่าที่กล่าวถึงนี้มาก



รูปที่ 2.1 เปอร์เซนต์การใช้ค่าดัชนีในปี 1990 (49 บริษัทที่มีรายงาน จากจำนวนผู้จ่ายไฟ 100บริษัท)



รูปที่ 2.2 เปอร์เซนต์การใช้ค่าดัชนีในปี 1995 เทียบกับปี 1997

2.3 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากทฤษฎีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายตามข้อ 2.1 ได้อธิบายถึงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ใช้วัดประสิทธิภาพการจ่ายไฟในระบบจำหน่าย ซึ่งมีค่าดัชนีต่างๆ มากมาย สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้นำค่าดัชนีความเชื่อถือได้มาใช้วัดประสิทธิภาพในระบบจำหน่ายด้วยเช่นกัน คือ ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI, SAIDI, CAIDI และ MAIFI โดยได้แสดงค่าเป้าหมายและค่าที่ได้จริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในแต่ละปีงบประมาณไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าเป้าหมายและค่าจริงที่ได้ในการประเมินค่า SAIFI, SAIDI และ CAIDI ของ กฟภ.

ปีงบประมาณ		2545	2546	2547	2548	2549
SAIFI (ครั้ง/รายปี)	ค่าเป้าหมาย	17.10	16.70	16.30	15.90	15.50
	ค่าที่ได้จริง	15.04	14.28	12.74		
SAIDI (นาทิต่อรายปี)	ค่าเป้าหมาย	960.00	875.00	790.00	705.00	620.00
	ค่าที่ได้จริง	849.76	855.80	690.83		
CAIDI (นาทิต่อครั้ง)	ค่าเป้าหมาย	56.14	52.40	48.47	44.34	40.00
	ค่าที่ได้จริง	56.50	59.93	54.23		

สำหรับค่าดัชนี MAIFI ใช้เป็นค่าประเมินความเชื่อถือได้ของเทคนิคอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งมีค่าเป้าหมายในปี 2548 คือ 2.50

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าค่าเป้าหมายของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI, SAIDI และ CAIDI เป็นค่าที่มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ทุกปี

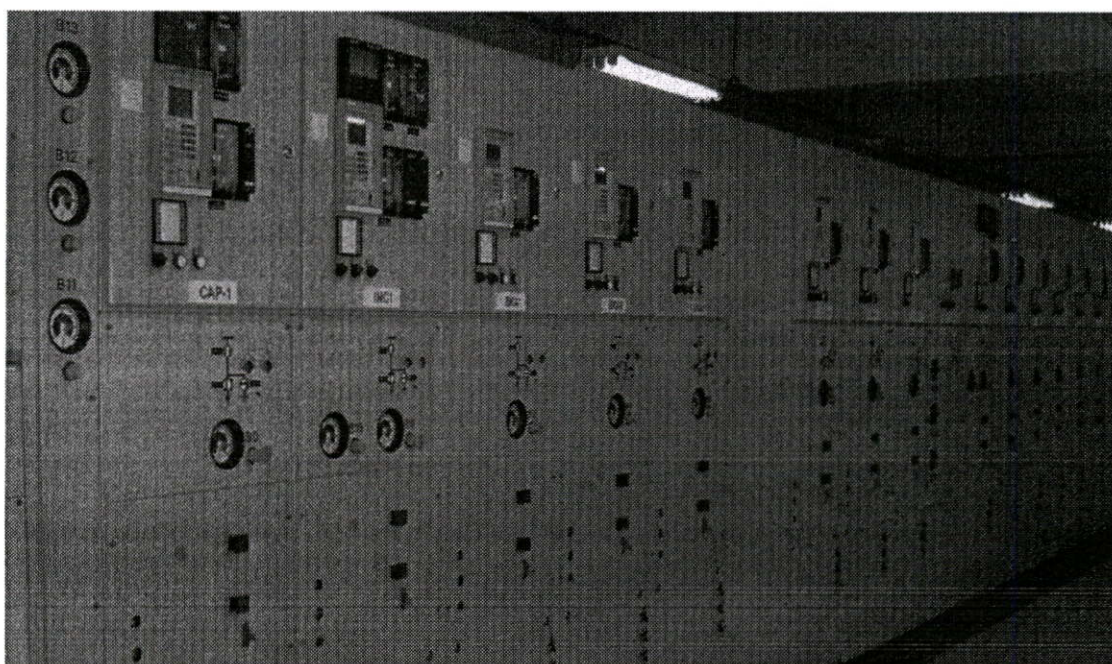
2.4 อุปกรณ์ป้องกันที่มีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้

สำหรับอุปกรณ์ที่มีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์, รีโคสเซอร์ และ เครื่องฟิวส์คัทเอาท์ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะทำการตรวจจับฟอลต์ในระบบจำหน่ายและปลดระบบจำหน่ายส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ ซึ่งได้อธิบายลักษณะและการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันได้ดังนี้

2.4.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัดติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้า สามารถเปิดปิดวงจรได้ขณะมีโหลด หรือฟอลต์อยู่ กลไกการควบคุมการปิดเปิดคอนแทค อาจเป็นแบบไฮดรอลิกส์ แบบสปริง หรืออื่นๆ ส่วนการดับอาร์คระหว่างการปิดเปิดคอนแทคมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่ใช้ดับอาร์ค เช่นถ้าใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการดับอาร์คเรียกว่า Oil Circuit Breaker ใช้สุญญากาศเป็นตัวกลางในการดับอาร์คเรียกว่า Vacuum Circuit Breaker เป็นต้น

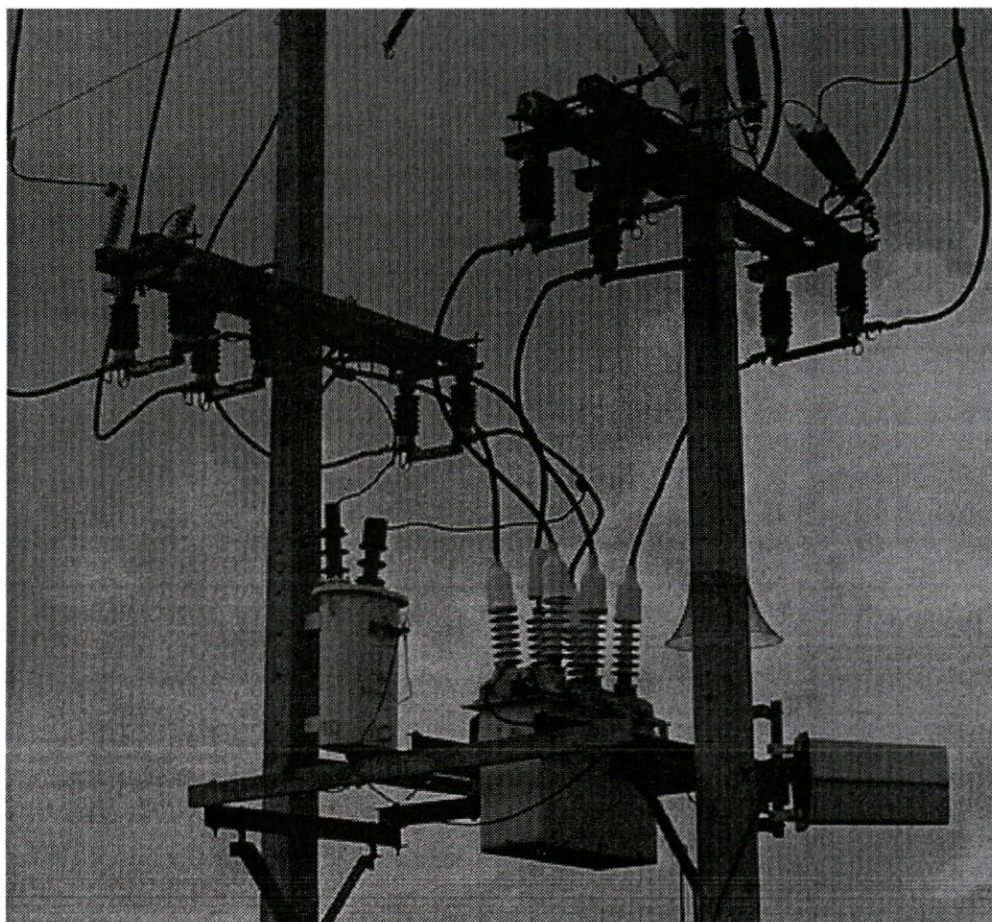
เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่อาจทำงานได้เองโดยตรง เนื่องจากเป็นกลไกในการปิดเปิดคอนแทคและการดับอาร์คเท่านั้น การสั่งหรือควบคุมให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานขึ้นอยู่กับระบบควบคุมจากภายนอกซึ่งประกอบด้วยชุดรีเลย์ กลไกต่างๆ และวงจรถริฟ, โคลส อุปกรณ์ควบคุมนี้จะรับรู้กระแสฟอลต์ โดยผ่านซีที (Current Transformer)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Indoor

2.4.2 รีโคลสเซอร์ (Recloser)

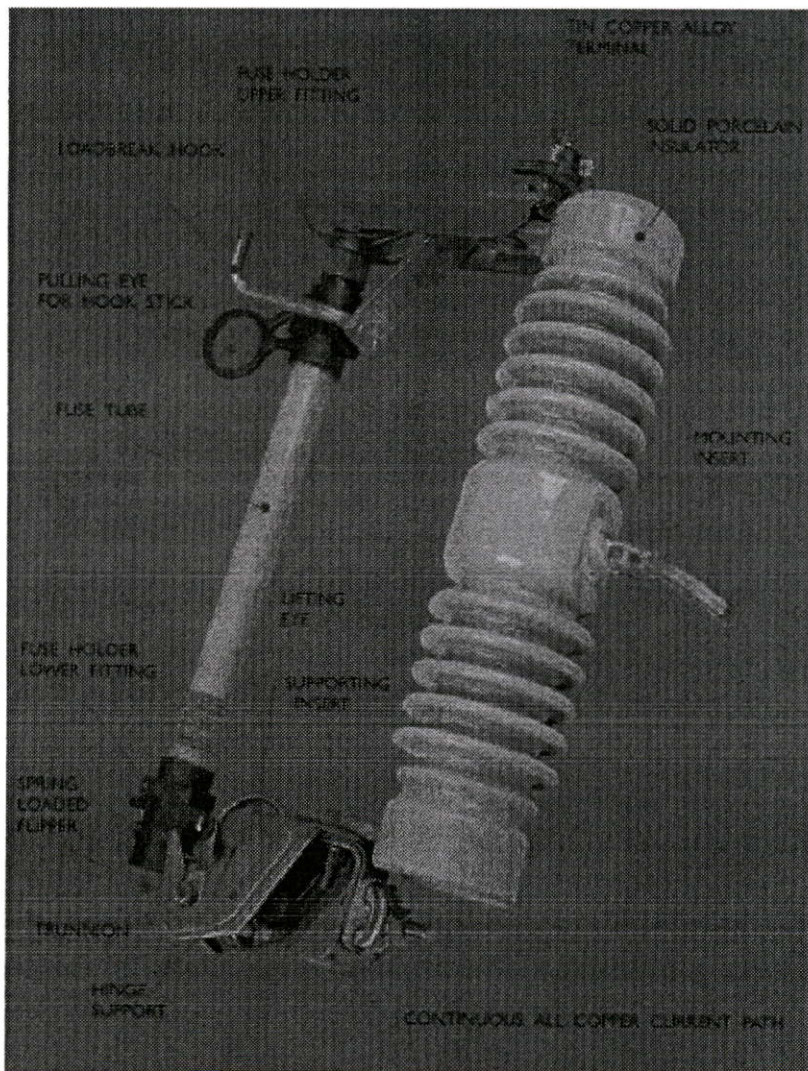
มีหลักการทำงานคล้ายกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ สามารถตัดกระแสฟอลต์ และปิดกลับได้อย่างอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องมีระบบควบคุมจากภายนอก ทั้งนี้เพราะว่าระบบควบคุมและกลไกต่างๆ จะถูกบรรจุอยู่ในตัวรีโคลสเซอร์ทั้งหมดแล้ว ซึ่งสะดวกต่อการนำไปติดตั้งใช้งาน แต่ในด้าน Interrupting Capacity มีค่าน้อยกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 2.4 ลักษณะของรีโคลสเซอร์ที่ติดตั้งในระบบจำหน่าย

2.4.3 ครอบเอาต์ ฟิวส์ คัทเอาต์ (Dropout Fuse Cutout)

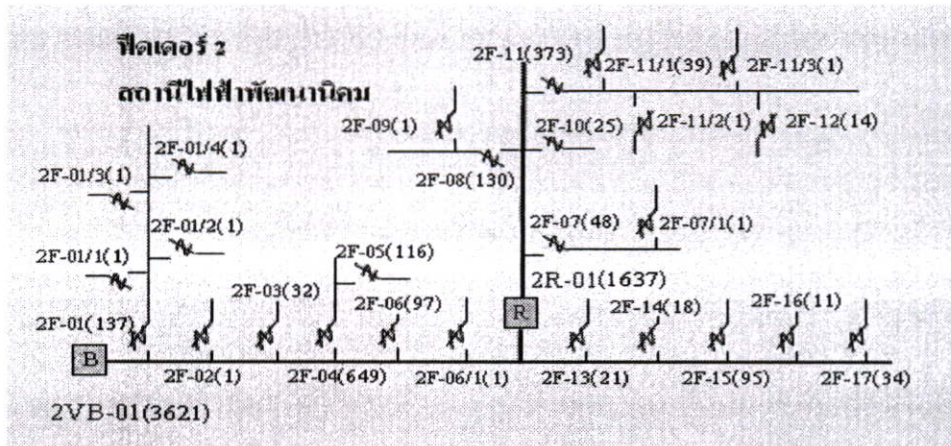
ครอบเอาต์ ฟิวส์ คัทเอาต์เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัดในระบบจำหน่ายแรงสูงที่มีราคาถูกที่สุดการติดตั้งง่าย และหลักการทำงานไม่ต้องอาศัยกลไกยุ่งยากเหมือนอุปกรณ์ป้องกันชนิดอื่น มีฟิวส์ลิ่งค์เป็นตัวทำหน้าที่หลอมละลายตัดวงจรออกเมื่อเกิดกระแสเกินพิกัดตั้งแต่ 2 เท่าของขนาดฟิวส์ลิ่งค์ขึ้นไป ลักษณะการทำงานของฟิวส์ลิ่งค์จะเป็นแบบ Extremely inverse time characteristic คือ กระแสเกินพิกัดยิ่งมีค่ามากเวลาการทำงานของฟิวส์ลิ่งค์ยิ่งเร็วขึ้น ความร้อนในการหลอมละลายฟิวส์ลิ่งค์จะเป็นสัดส่วนกับแบบและชนิดของครอบเอาต์ ฟิวส์ คัทเอาต์ ที่ใช้งานใน กฟภ.



รูปที่ 2.5 ลักษณะของ Dropout Fuse Cutout

2.5 การประยุกต์ใช้งานดัชนี

ตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ฟีดเดอร์ 2 โดยมีลักษณะการจ่ายไฟดังรูป



หมายเหตุ : จำนวนในวงเล็บหมายถึงจำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์นั้นๆ

รูปที่ 2.6 ลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ในช่วงเดือนมกราคม 2547

อุปกรณ์ป้องกัน ที่ทำงาน	เหตุการณ์ ที่	วันที่เริ่ม เกิดไฟดับ	เวลาที่ไฟดับ (นาที)	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ ได้รับผลกระทบ(ราย)
PXA2F-01	1	4 มกราคม 2547	50	137
	2	12 มกราคม 2547	30	137
	3	24 มกราคม 2547	40	137
	4	26 มกราคม 2547	30	137
PXA2F-08	1	20 มกราคม 2547	40	130
PXA2F-10	1	15 มกราคม 2547	30	25
PXA2F-11	1	15 มกราคม 2547	30	373
	2	27 มกราคม 2547	40	373
	3	31 มกราคม 2547	40	373
PXA2F-12	1	15 มกราคม 2547	45	14
	2	26 มกราคม 2547	60	14

หมายเหตุ : จำนวนผู้ใช้ไฟของสถานีไฟฟ้าพัฒนานิคมทั้งหมด = 16,186 ราย

1 คำนวณค่า SAIFI ของอุปกรณ์ป้องกัน PXA2F-01 ระหว่างเดือนมกราคม 2547

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\ &= \frac{137+137+137+137}{16,186} = 0.033856419 \text{ ครั้ง/ราย/เดือน} \end{aligned}$$

2 คำนวณค่า SAIDI ของอุปกรณ์ป้องกัน PXA2F-01 ระหว่างเดือนมกราคม 2547

$$\begin{aligned} \text{SAIDI} &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์ คูณ เวลาที่เกิดไฟดับ}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด}} \\ &= \frac{(137 \times 50) + (137 \times 30) + (137 \times 40) + (137 \times 30)}{16,186} = 1.269615717 \text{ นาที/ราย/เดือน} \end{aligned}$$

3 คำนวณค่า CAIDI ของอุปกรณ์ป้องกัน PXA2F-01 ระหว่างเดือนมกราคม 2547

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละเหตุการณ์ คูณ เวลาที่เกิดไฟดับ}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เกิดไฟดับ}}$$

$$\text{หรือ} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}}$$

$$= \frac{(137 \times 50) + (137 \times 30) + (137 \times 40) + (137 \times 30)}{137 + 137 + 137 + 137} = \frac{1.269615717}{0.033856419}$$

$$= 37.5 \text{ นาที/ครั้ง}$$

สำหรับอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ สามารถคำนวณค่า SAIFI, SAIDI และ CAIDI ได้ตามตัวอย่างของอุปกรณ์ป้องกัน PXA2F-01 ในข้อ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งผลการคำนวณได้แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI และ CAIDI ของอุปกรณ์ป้องกันในฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ในช่วงเดือนมกราคม 2547

อุปกรณ์ป้องกันที่ทำงาน	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)	CAIDI (นาที/ครั้ง)
PXA2F-01	0.033856419	1.269615717	37.5
PXA2F-08	0.008031632	0.321265291	40
PXA2F-10	0.001544545	0.04633634	30
PXA2F-11	0.069133819	2.53490671	36.66666667
PXA2F-12	0.00172989	0.090819226	52.5

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า อุปกรณ์ป้องกันในฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ที่ทำงานในเดือนมกราคม 2548 และมีค่า SAIFI, SAIDI สูงสุดคือ อุปกรณ์ป้องกันรหัส PXA2F-11 ซึ่งมีค่า SAIFI 0.07 ครั้ง/ราย/เดือน และ SAIDI 2.53 นาที/ราย/เดือน ซึ่งระบบจำหน่ายหลังอุปกรณ์ป้องกันนี้ควรจะมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาเป็นลำดับต้นๆ ของเดือนถัดไป

2.6 รูปแบบของการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษามี 3 รูปแบบคือ

1. การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง หมายถึง การบำรุงรักษาโดยปรับปรุงให้อุปกรณ์ทำงานได้ดีขึ้น แบ่งเป็น

- การปรับปรุงเพื่อ ไม่ให้เกิดความเสียหาย (Design Out) เช่น การเปลี่ยนชนิดสายเปลือยเป็นสาย SAC
- การปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน (Life Time Extension) เช่น การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ย่อยบางอย่างเพื่อให้ใช้งานได้นานกว่าปกติ

2. การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบป้องกัน หมายถึงการบำรุงรักษาที่ได้มีการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหายแบบฉุกฉิน ทำให้สามารถเตรียมการล่วงหน้าได้ เพราะทราบสภาพของอุปกรณ์นั้น แบ่งเป็น

- ป้องกันทางตรง (Direct PM) หรือการบำรุงรักษาแบบเวลาคงที่ (Fixed Time Maintenance-FTM) เป็นการทำให้อุปกรณ์มีสภาพดีขึ้น
- ป้องกันทางอ้อม (Indirect PM or Condition Based Maintenance-CBM) เป็นการบำรุงรักษาที่มีการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์โดยใช้เครื่องมือ (Objective) หรือสัมผัสทั้ง 5 (Subjective)

3. การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไข ดำเนินการก็ต่อเมื่ออุปกรณ์เสียและต้องมีการซ่อมหรือแก้ไขเพื่อไม่ให้ไฟดับนาน การที่อุปกรณ์เสียมีสองอย่างคือ การเสียของอุปกรณ์แบบไม่ทราบล่วงหน้า กับแบบทราบล่วงหน้าเนื่องจากการทำการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

- การแก้ไขแบบไม่มีแผน (Unplanned CM) ได้แก่การทำให้อุปกรณ์ทำงานจนกระทั่งเสีย ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ทราบล่วงหน้า ดังนั้นเวลาไฟดับจึงค่อนข้างนาน บางครั้งเรียกว่า การเสียฉุกฉิน (Emergency Breakdown)

- การแก้ไขแบบมีแผน (Planned CM) ได้แก่การแก้ไขที่ทราบล่วงหน้าเนื่องจากมีการบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม ทำให้มีการเตรียมการล่วงหน้า ลดระยะเวลาที่เสียให้น้อยลง เพราะเวลารอต่างๆ น้อยลง

ถ้าเป็นไปได้ควรเลือกการบำรุงรักษาแบบปรับปรุงก่อน และถ้าทำไม่ได้ก็ไปเลือกการบำรุงรักษาแบบป้องกัน และการบำรุงรักษาแบบแก้ไขเป็นทางเลือกสุดท้าย

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการบำรุงรักษาแบบป้องกันและแบบแก้ไข

รายละเอียด	บำรุงรักษาแบบป้องกัน		บำรุงรักษาแบบแก้ไข
	ทางอ้อม	ทางตรง	
ตรวจหาความผิดปกติของอุปกรณ์ตามระบบ จำหน่ายทุกเดือน	✓		
ใช้กล้องส่องหาความร้อนตรวจสอบระบบจำหน่าย และอุปกรณ์เพื่อหาความผิดปกติ	✓		
วัดโหลดหม้อแปลงทุก 6 เดือน	✓		
ตรวจสอบสภาพน้ำมันในหม้อแปลงทุก 1 ปี	✓		
วัดค่าความต้านทานดินที่เสาทุก 6 เดือน	✓		
ฉีดน้ำล้างลูกถ้วยในระบบสายส่งทุก 1 ปี		✓	
เปลี่ยนเบตเตอรี่ รีโคสเซอร์ทุก 3 ปี		✓	
เปลี่ยนน้ำมันหม้อแปลงทุกๆ 5 ปี		✓	
ตรวจสอบระบบจำหน่ายหลังจากที่มีไฟฟ้าดับ			✓
เปลี่ยน Capacitor เมื่อเกิดระเบิด			✓
เปลี่ยนฟิวส์ที่ขาด			✓
ซ่อมระบบจำหน่ายหลังจากที่รถยนต์ชนเสาล้ม			✓
ซ่อมสาย Underground เมื่อหัวเคเบิลเกิดระเบิด			✓
ซ่อมหม้อแปลงหลังจากที่ตรวจสอบน้ำมันหม้อ แปลงทุกเดือนแล้วพบรอยรั่ว			✓
เปลี่ยนหม้อแปลงเครื่องใหม่เมื่อหม้อแปลงเครื่อง เดิมเกิดระเบิด			✓

บทที่ 3

โครงข่ายประสาทเทียม

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการคำนวณ, วิเคราะห์ในงานด้านต่างๆ มากมาย อาทิเช่น งานวิทยาศาสตร์ด้านระบบประสาท, การเงินการธนาคาร, ระบบรักษาความปลอดภัย, อุตสาหกรรม, ระบบขนส่ง, การแพทย์, ระบบสื่อสาร นอกจากนี้สำหรับในงานทางด้านวิศวกรรม นักวิจัยยังได้มีแนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาแก้ปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้ากำลังหลายปัญหาด้วยเช่นกัน ดังตัวอย่างเช่น ปัญหาการสูญเสียในระบบไฟฟ้า (Losses), การพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load Forecasting), ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างมีประสิทธิภาพ (Economics Load Dispatch) เป็นต้น ในบทนี้อธิบายถึงหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม, ชนิดของการเรียนรู้ รวมไปถึงโครงข่ายประสาทเทียมชนิดต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัย

3.1 ประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม [4, 5]

เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1890 William James นักสรีรศาสตร์ชาวอเมริกันได้แต่งหนังสือชื่อ Psychology (Briefer Course) ซึ่งอธิบายถึงการทำงานของสมอง

ในปี ค.ศ. 1936 Alan Turing ได้นำเอาแบบอย่างของสมองมาใช้ในการคำนวณในหนังสือที่ชื่อว่า A way of looking at the world of computing

ในปี ค.ศ. 1943 Warren McCulloch นักประสาทวิทยา และ Walter Pitts นักคณิตศาสตร์ ซึ่งมีอายุเพียง 18 ปี ในขณะนั้น ได้ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแรก โดยเขียนบทความเกี่ยวกับการทำงานของเซลล์ประสาท และได้จำลองเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่งด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำให้นักวิจัยในสมัยนั้นเกิดความสนใจเป็นอย่างมาก นิเวรอนของ McCulloch-Pitts ประกอบด้วยชั้นของโครงข่ายจำนวน 2 ชั้น คือชั้นอินพุต และเอาต์พุต โครงข่ายจะมีการเชื่อมโยงจากชั้นอินพุตไปยังชั้นเอาต์พุตโดยผ่านน้ำหนัก (weight) McCulloch-Pitts ได้กำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าคงที่ ดังนั้นนิเวรอนจึงได้ปฏิบัติเฉพาะฟังก์ชันตรรกศาสตร์ไม่ซับซ้อน โหนดกระตุ้นเป็นลักษณะเด่นอย่างหนึ่งของ McCulloch-Pitts ซึ่งถูกนำไปใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมหลายๆ ชนิดในปัจจุบัน

ในปี ค.ศ. 1949 Donald Hebb นักจิตวิทยาของมหาวิทยาลัย McGill ได้แต่งหนังสือชื่อ The organization of behavior ซึ่งกล่าวถึงการเชื่อมโยงกันของจิตวิทยา และสรีรศาสตร์ โดยได้

ออกแบบกฎการเรียนรู้ชนิดแรกสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม กฎการเรียนรู้ก็คือ ถ้าสองนิวรอนถูกกระตุ้นพร้อมกันแล้ว ความแข็งแรงของการเชื่อมโยงระหว่างพวกมันควรจะเพิ่มขึ้น

ในช่วงทศวรรษที่ 1950 การพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์, ซอฟต์แวร์ และงานวิจัยด้านต่างๆ เข้าสู่ยุคของการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นผลให้การทดสอบทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายประสาทเทียมมีความเป็นไปได้มากยิ่งขึ้น ในปี ค.ศ.1956 Dartmouth Summer ได้เริ่มทำงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์(Artificial intelligence : AI) ซึ่งเป็นแรงผลักดันให้เกิดการศึกษาทั้งในด้านปัญญาประดิษฐ์ และโครงข่ายประสาทเทียมมากขึ้น

ในปี ค.ศ.1957 Frank Rosenblatt ได้เริ่มศึกษา และพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียกว่าเพอร์เซ็ปตรอน (Perceptron) ซึ่งเป็นรูปแบบที่สำคัญรูปแบบหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียม โดยส่วนมากสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ จะประกอบด้วย ชั้นอินพุตที่เชื่อมโยงผ่านด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อเป็นตัวเชื่อมโยงกับนิวรอนที่ชั้นเอาต์พุต ค่าถ่วงน้ำหนักบนทางผ่านเชื่อมโยงถูกปรับเปลี่ยน กฎการเรียนรู้ของ Perceptron ปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักซ้ำๆ กัน ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่ากฎของ Hebb การเรียนรู้ของ Perceptron สามารถแสดงให้เห็นว่าผู้เข้าสู่ค่าถ่วงน้ำหนักที่ถูกต้อง ถ้าค่าถ่วงน้ำหนักเหล่านั้นจะแก้ปัญหาที่เตรียมพร้อมในปี

ในปี ค.ศ.1958 John von Neumann เขียนหนังสือเรื่อง The Computer and the Brain ซึ่งได้นำเสนอฟังก์ชันการทำงานของเซลล์ประสาทโดยใช้รีเลย์ที่ใช้สำหรับส่งโทรเลข และหลอดสุญญากาศ (Vacuum tube)

ในปี ค.ศ.1959 Bernard Widrow และนักศึกษาของเขา Marcian Hoff ได้พัฒนาการเรียนรู้ซึ่งใกล้เคียงกับกฎการเรียนรู้ของ Perceptron โดยกฎการเรียนรู้ของ Perceptron ปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงโนด เมื่อผลตอบสนองของโนดไม่ถูกต้อง กฎ delta ปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อลดความแตกต่างระหว่างโครงข่ายอินพุตถึงโนดเอาต์พุต และค่าเอาต์พุตที่ต้องการ สิ่งเหล่านี้จะสรุปในรูปของค่าผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด(smallest mean square error : SMS) และนำสิ่งต่างๆ เหล่านี้ไปใช้สร้างแบบจำลองของ MADALINE(Multiple ADaptive LINear Eliment) เป็นการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานในทางปฏิบัติเป็นครั้งแรก โดยนำมาใช้ในการลดเสียงก้องในสายโทรศัพท์

ในปี ค.ศ.1967 Stephen Grossberg พร้อมกับเพื่อนร่วมงานหลายๆ คน ได้พัฒนา Avalanche ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่งขึ้นมา และใช้ในการจดจำคำพูด และตั้งงานแขนงกล

ในปี ค.ศ.1968 John Anderson ของมหาวิทยาลัย Brown เริ่มวิจัยงานของเขาในโครงข่ายประสาทเทียมด้วยโครงข่ายรวมกลุ่มความสามารถในการจดจำ(associative memory nets) เขาได้

พัฒนาแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมา และให้ชื่อว่า Brain State in a Box (BSB) งานประยุกต์ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้คือ การวินิจฉัยทางการแพทย์ (medical diagnosis)

ในปี ค.ศ.1969 Marvin Minsky และ Seymour Papert ได้ตีพิมพ์หนังสือ Perceptron ซึ่งกล่าวถึงข้อจำกัดของ Perceptron ว่าไม่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาหลายๆ ปัญหาที่มีความน่าสนใจได้ ซึ่งจุดนี้เองทำให้นักวิจัยหลายคนกลับไปให้ความสนใจด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) มากขึ้น แต่ยังมีนักวิจัยบางกลุ่มที่ไม่ย่อท้อและยังคงทำงานวิจัยด้านโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

ในปี ค.ศ.1977 James Anderson ซึ่งเป็นนักวิจัยในกลุ่มที่ไม่ย่อท้อในการวิจัยโครงข่ายประสาทเทียม และได้พัฒนาแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นให้ชื่อว่า Brain State in a Box (BSB)

ในปี ค.ศ.1978 Kunihito Fukushima ได้พัฒนา Neocognitron ซึ่งเป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับจดจำรูปแบบ (Pattern recognition)

ในปี ค.ศ.1980 งานเริ่มต้นของ Teuvo Kohonen ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี Helsinki วิศวกรไฟฟ้าชาวฟินแลนด์ได้จัดการกับโครงข่ายประสาทเทียมรวมกลุ่มความสามารถในการจดจำ และต่อมาได้พัฒนากลายเป็น self organizing map ขึ้นมา สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ประกอบด้วยจำนวนชั้น 2 ชั้น คือชั้นอินพุต และชั้นเอาต์พุต การเชื่อมโยงที่ชั้นอินพุตไปยังนิวรอนที่ชั้นเอาต์พุตนั้นจะต่อผ่านน้ำหนัก ข้อแตกต่างจากโครงข่ายอื่นๆ คือ กระบวนการเรียนรู้ที่สามารถจัดกลุ่มข้อมูลอินพุตได้ด้วยตัวของมันเองและเรียกการเรียนรู้นี้ว่า การเรียนรู้แบบคอมพิเททีฟ (competitive learning) โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ถูกนำมาใช้เกี่ยวกับการจดจำคำพูด (speech recognition), การแก้ปัญหาของ “Travelling Salesman Problem” เป็นต้น

ในปี ค.ศ.1982 John Hopfield ทำงานที่สถาบันเทคโนโลยี California พร้อมกับ David Tank นักวิจัยที่ AT&T Hopfield ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีในนามโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Hopfield ส่งผลให้ John Hopfield ได้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ และได้พัฒนาจำนวนของโครงข่ายประสาทเทียมพื้นฐานค่าถ่วงน้ำหนักคงที่ และ adaptive activation โครงข่ายประสาทเทียมเหล่านี้มีประโยชน์เหมือนกับโครงข่ายประสาทเทียมรวมกลุ่มความสามารถในการจดจำและสามารถนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาการบีบบังคับความพอใจ เช่น ปัญหา “Traveling Salesman Problem” และเขาได้นำเสนอบทความต่อ National academy of sciences ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายส่วนที่ขาดหายไปของข้อมูลหรือรูปภาพ ในปีเดียวกันนี้เองสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่นได้ร่วมมือกันจัด Conference on cooperative/competitive neural network ขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการประชุมสัมมนาทางด้านโครงข่ายประสาทเทียม

ในปี ค.ศ.1985 American Institute of Physics ได้จัดงาน Neural networks for computing meeting

ในปี ค.ศ.1987 Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE) ได้จัดการประชุมนานาชาติเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นเป็นครั้งแรก โดยมีผู้ร่วมงานมากกว่า 1,800 คน ในปีเดียวกัน International Neural Network Society(INNS) ถูกก่อตั้งขึ้นโดยมี Grossberg จากสหรัฐอเมริกา Kohonen จากฟินแลนด์ และ Amari จากญี่ปุ่นเป็นผู้นำในการก่อตั้ง โดยหลังจากที่ INNS ก่อตั้งได้ 2 ปี ก็มีสมาชิกเข้าร่วมมากกว่า 3,000 คนจากทั่วโลก

ในปัจจุบันโครงข่ายประสาทได้ถูกพัฒนา ค้นคว้า วิจัยและนำไปใช้ในด้านต่างๆมากมาย รวมไปถึงงานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า จึงถือได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเป็นอย่างมาก โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางพอสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง [5]

Years	Network	Inventor/Developer	Application	Limitations	Comments
1957	Perceptron	Frank Rosenblatt	Type-character recognition	Cannot recognize complex characters; sensitive to scale, distortion	Oldest net; was built in hardware, rarely used today
1960-62	MADALINE	Bernard Widrow	Nulling of radar jammers; modems; phone equalizers	Assumes linear relationship between I&O	Can Implement on a large scale
1967	Avalanche	Stephen Grossberg	Continuous-speech recognition; commands to robot arms	No easy way to alter speed or interpolate movement	Class of network; no single net can do all this
1969-82	Cerebellatron	David Marr, James Albus, Andres Pellionez	Control motor action of robotic arms	Requires complicated control input	Like Avalanche; can blend commands with difference weights for smoothness
1974-85	Back Propagation	Paul Werbos, David Parker, David Rumelhart	Speech synthesis from text; robot arms; bank loans	Supervised training only ; need a lot of I/O examples	Most popular net; work well, easy to learn, powerful

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Years	Network	Inventor/Developer	Application	Limitations	Comments
1977	Brain state in a box	James Anderson	Extraction of knowledge from data bases	One-shot decision, no iteration	Similar to bidirect in completing fragmented inputs
1978-84	Neocognitron	Kunihiko Fukushima	Handprinted char recognition	Requires many PEs and connects	Most complicated; insensitive to scale transection, rotation
1978-86	Adaptive resonance theory	Gail Carpenter, Stephen Grossberg	Pattern recognition, (radar/sonar, voiceprints)	Sensitive to translation, distortion, scale	Sophisticated ; not applied much yet
1980	Self organizing map	Teuvo Kohonen	Maps 1 Geometric region(Grid) to another(aircraft)	Require much training	More effective than many algorithms for aerodyn flow calculations
1982	Hopefield	John Hopefield	Retrieval of complete data from fragments	Does not learn; weights must be set in advance	Can implement on a large scale
1985	Bidirectional associative memory	Bart Kosko	Content addressable associative memory	Low storage density; data must be coded	Easiest to learn; associate fragment pairs with complete pairs
1985-86	Boltzmann & Cauchy machines	Jeffrey Hinton, Terry Sejnowsky, Harold Szu	Pattern recognition for images, sonar, radar	Long training time , gen. noise in statistic distribution	Simple nets; noise function used to find global min.
1986	Counter Propagation	Robert Hecht-Nielsen	Image compress; stat analysis; loan apply score	Many PEs and connections for high accuracy	Self-programming look up table; similar to back propagation

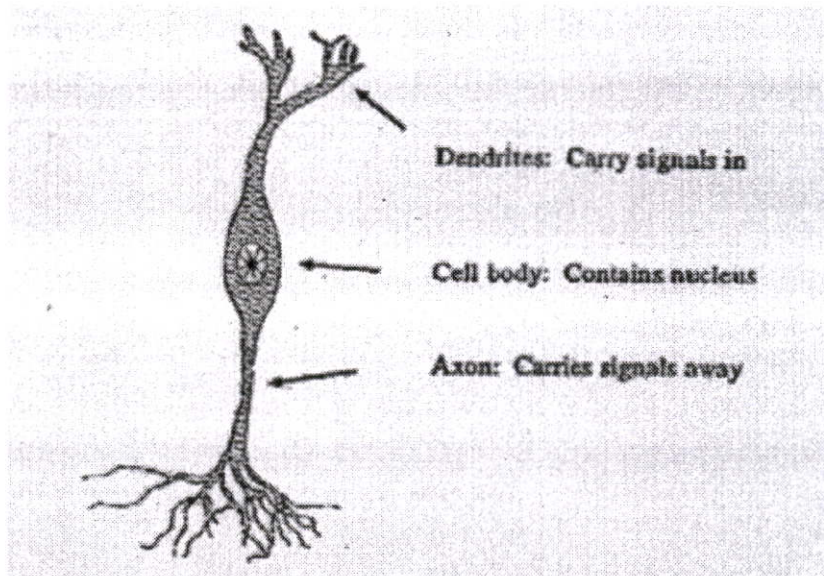
3.2 โครงข่ายประสาทชีวภาพ

3.2.1 นิวรอน

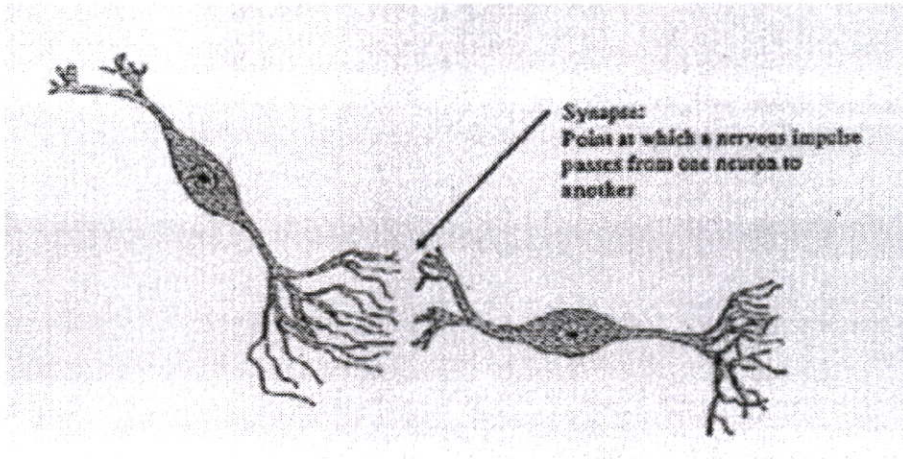
นิวรอน หมายความว่า เซลล์ประสาทและกระบวนการทั้งหมดของเซลล์ประสาท ในรูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของนิวรอน ที่สามารถพบได้ใน เรตินา เป็นนิวรอนที่มีสองขั้ว (Bipolar neuron) ในตัวเซลล์ (Cell body) ของนิวรอนจะมีนิวเคลียส (Nucleus) อยู่ตรงกลางเซลล์ และมีแขนงอย่างน้อย 1 เส้น เชื่อมต่ออยู่กับตัวเซลล์ แขนงที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาท ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) เข้ามายังตัวเซลล์นั้นเรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrite) ส่วนแขนงที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์เรียกว่า แอกซอน (Axon)

3.2.2 โครงสร้างของนิวรอนและไซแนปส์

เมื่อนิวรอนมากกว่า 1 นิวรอน รวมอยู่ด้วยกันมีการจัดเรียงกันเป็นโครงสร้างของประสาท ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จะมีการส่งกระแสประสาทจากนิวรอนหนึ่งไปยังนิวรอนอื่น โดยผ่านจุดเชื่อมต่อระหว่างปลายของแอกซอนของนิวรอนหนึ่งกับตัวเซลล์หรือเดนไดรต์ของอีกนิวรอนหนึ่ง หรือที่เรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse) ซึ่งเป็นช่องว่างที่เล็กมากระหว่างนิวรอนสองนิวรอนที่อยู่ติดกัน แต่ไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง ไซแนปส์จะเป็นบริเวณที่ควบคุมให้มีการส่งผ่านกระแสประสาทต่อไป หรือยับยั้งการส่งกระแสประสาท รวมถึงเปลี่ยนแปลงลักษณะของกระแสประสาทอีกด้วย



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของนิวรอนชนิดที่มีสองขั้ว



รูปที่ 3.2 แสดง โครงสร้างของประสาท

3.2.3 การส่งผ่านกระแสประสาท

ในสภาวะปกติเมื่อนิวรอนนำกระแสประสาทที่ได้รับจากอวัยวะที่ทำหน้าที่รับรู้(อาทิเช่น ตา หรือ หู) ไปยังอวัยวะที่ทำหน้าที่ตอบสนอง (อาทิเช่น กล้ามเนื้อ หรือ ต่อมต่างๆภายในร่างกาย) กระแสประสาทจะถูกส่งผ่านจากนิวรอนหนึ่งไปยังอีกนิวรอนหนึ่งโดยผ่านไซแนปส์ เมื่อกระแสประสาทผ่านเข้ามายังไซแนปส์ (เสมือนเป็นอินพุตของไซแนปส์) สารเคมีในไซแนปส์จะมีผลต่อกระแสประสาทได้สองลักษณะ คือ กระตุ้นให้กระแสประสาทมีขนาดเพิ่มขึ้น หรือยับยั้งให้กระแสประสาทมีขนาดลดลง ซึ่งทั้งสองลักษณะดังกล่าวเปรียบได้กับการที่สัญญาณอินพุตถูกถ่วงน้ำหนัก (Weighted) ให้มีค่ามากขึ้น หรือลดลง เมื่อผ่านออกจากไซแนปส์ กระแสประสาทที่ถูกกระตุ้นและกระแสประสาทที่ถูกยับยั้งจะถูกรวมเข้าด้วยกัน หากผลรวมของกระแสประสาทดังกล่าวมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ศักดที่ผิวของนิวรอนถัดไป หรือเรซโซลด์ (Threshold) กระแสประสาทดังกล่าวก็จะสามารถไหลผ่านเข้าไปในนิวรอนได้ หากผลรวมของกระแสประสาทนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าเรซโซลด์ กระแสประสาทก็จะถูกยับยั้งไม่ให้ผ่านเข้าไปในนิวรอนนั้น การไหลของกระแสประสาทจะเป็นไปในทิศทางเดียว (One direction) และมีความเร็วอยู่ระหว่าง 10 ถึง 120 เมตรต่อวินาที เมื่อการส่งกระแสประสาทครั้งหนึ่งสิ้นสุดลง ส่วนต่างๆของนิวรอนจะกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่งเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับส่งกระแสประสาทครั้งต่อไป

ในสมองของมนุษย์จะประกอบด้วยเซลล์ประสาท (หรือนิวรอน) ประมาณ 1 หมื่นล้านเซลล์และแต่ละเซลล์สามารถเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทอื่นๆได้มากถึง 2 แสนเซลล์ (โดยปกติเซลล์ประสาทหนึ่งเซลล์จะเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทอื่นๆประมาณ 1,000 ถึง 10,000 เซลล์) เมื่อเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ทำงานร่วมกันจะสามารถส่งกระแสประสาทได้สูงสุดถึง 1,000 สัญญาณ(Pulse) ต่อวินาที และจากการที่เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ส่งผ่าน หรือยับยั้งกระแสประสาท ที่อัตรา

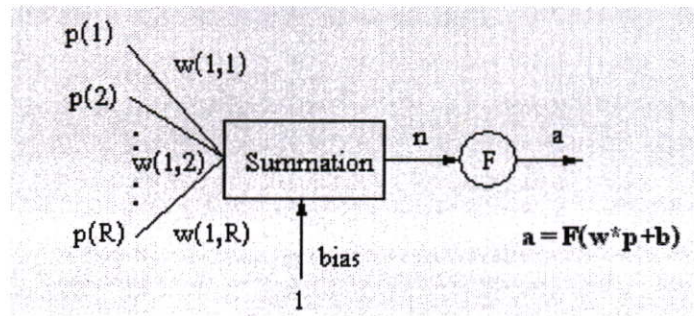
ความเร็วต่างๆกัน ในเวลาเดียวกันเพื่อเป็นการส่งข้อมูลนั้น ทำให้สมองสามารถรับรู้อินพุตต่างๆ และสร้างผลตอบสนองต่ออินพุตนั้นๆได้ โดยที่การรับรู้และตอบสนองนี้เกิดขึ้นจากการพัฒนาทาง พันธุศาสตร์และการเรียนรู้ที่จะจัดระเบียบการตอบสนองต่ออินพุตของสมองเอง อาจสรุป คุณสมบัติของโครงข่ายประสาทชีวภาพได้ดังนี้

1. แต่ละนิวรอนจะรับข้อมูลอินพุตเป็นจำนวนมาก
 2. ข้อมูลอินพุตอาจถูกปรับให้เหมาะสมด้วยค่าการเชื่อมโยง (Connection value or weight value or strength) ที่ไซแนปส์
 3. ข้อมูลอินพุตที่ผ่านการปรับด้วยค่าการเชื่อมโยงจะถูกรวมและทำการประมวลผล
 4. ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม เช่น ข้อมูลอินพุตมีจำนวนเพียงพอ นิวรอนจะส่งข้อมูลออกมา หนึ่งค่า
 5. ข้อมูลเอาต์พุตจากนิวรอนหนึ่งอาจจะถูกส่งไปให้นิวรอนอื่นๆ หลายนิวรอนผ่านทางแอกซอน
 6. นิวรอนแต่ละนิวรอนมีความเป็นเฉพาะตำแหน่งหรือเฉพาะที่(Local)
 7. ความจำแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ
 - ความจำระยะยาว จะเก็บที่ไซแนปส์ของนิวรอนหรือเก็บในค่าการเชื่อมโยง
 - ความจำระยะสั้น สัมพันธ์กับข้อมูลเอาต์พุตจากนิวรอน
 8. ความถูกต้องของค่าการเชื่อมโยงจะขึ้นกับประสบการณ์ในการเรียนรู้ที่ผ่านมา
 9. การควบคุมการถ่ายโอนของไซแนปส์อาจจะเป็นการกระตุ้นแบบเสริมหรือแบบหักล้าง
- นอกจากที่กล่าวมา โครงข่ายประสาทชีวภาพยังยึดหยุ่นต่อความผิดพลาด(Fault-tolerance)
- 2 ประเด็นด้วยกัน ประการแรก คือ ความสามารถในการจดจำและจำแนกข้อมูลอินพุตที่แตกต่าง จากข้อมูลอินพุตที่เคยได้รับไม่มากนัก ตัวอย่างเช่น ความสามารถในการจำแนกภาพบุคคลที่ไม่เคย เห็นมาก่อน หรือสามารถจดจำบุคคลที่ไม่ได้พบเห็นกันเป็นเวลานาน ประการที่สองความสามารถ ในการซ่อมแซมหรือชดเชยความเสียหายของตัวนิวรอนเอง ในสมองมนุษย์เมื่อนิวรอนหนึ่งชำรุดเสียหายก็จะมีการสร้างนิวรอนใหม่ขึ้นมาแทน นั่นคือ ยังคงมีการเรียนรู้ (Learning) อย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะสูญเสียนิวรอนบางส่วน ในบางครั้งนิวรอนที่เหลือจะได้รับการฝึกสอน (Training) เพื่อทำ หน้าที่แทนนิวรอนที่ชำรุดเสียหาย

จากจุดเด่นหลายประการของโครงข่ายประสาทชีวภาพผนวกกับเทคโนโลยีด้าน คอมพิวเตอร์การทำงานแต่ละครั้งของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในคอมพิวเตอร์จะใช้เวลาอยู่ในช่วง นาโนวินาที (10^{-9} s) ซึ่งมีความรวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของสมองมนุษย์ทำให้มี การคิดค้นแนวทางแก้ปัญหาโดยมีโครงสร้างองค์ประกอบและกลไกการแก้ปัญหาลักษณะเดียวกับ โครงข่ายประสาทชีวภาพ โดยเรียกว่า โครงข่ายประสาทเทียม(Artificial neural network)

3.3 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเป็นระบบการประมวลผลข้อมูลที่มีพฤติกรรมบางอย่างเหมือนกับโครงข่ายประสาทชีวภาพ จึงกล่าวได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียม เป็นอัลกอริทึมที่เลียนแบบการเรียนรู้ของสมองมนุษย์ โดยมีองค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญดังนี้คือ นิวรอน (Neuron), ตัวแปรอินพุต (Input Layer), ตัวแปรเอาต์พุต (Output Layer) และค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighted Value) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 3.3 ตัวแปรอินพุต $p(i)$ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, R$ จะถูกส่งผ่านเข้าไปรวมกันด้วยค่าน้ำหนักที่ไม่เท่ากัน จะได้ผลรวมเป็น

$$n = p(1).w(1,1) + p(2).w(1,2) + \dots + p(R).w(1, R) + b \quad (3.1)$$

จากนั้น ส่งสัญญาณ n ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) เพื่อคำนวณตัวแปรเอาต์พุต a ที่ออกจากเซลล์ประสาทเทียม

$$a = F\left(\sum_{i=1}^R p(i).w(1,i) + b\right) \quad (3.2)$$

โดยที่ n = ค่าผลรวมตัวแปรอินพุต

w = ค่าน้ำหนัก (weight)

b = ค่าไบอัส (bias)

สรุปความสัมพันธ์ระหว่างโครงข่ายประสาทชีวภาพกับโครงข่ายประสาทเทียมได้ดังนี้

โครงข่ายประสาทชีวภาพ

ตัวเซลล์ (Cell Body)

เดนไดรต์ (Dendrites)

แอกซอน (Axon)

ไซแนปส์ (Synapse)

โครงข่ายประสาทเทียม

นิวรอน (Neuron)

ตัวแปรอินพุต (Input Layer)

ตัวแปรเอาต์พุต (Output Layer)

ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Value)

3.3.1 คุณสมบัติและความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม

คุณสมบัติและความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. โครงข่ายประสาทเทียมไม่ใช่โปรแกรมคอมพิวเตอร์แต่โครงข่ายจะเรียนรู้จากตัวอย่าง
2. มีความยืดหยุ่นสูงจนสามารถจำลองกระบวนการของปัญหาใดๆได้
3. มีความสามารถในการจำหุดของคู่อินพุต, เอาท์พุตที่มีความซับซ้อนมากจนไม่สามารถจำลองแบบในเชิงความน่าจะเป็นได้
4. มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม
5. มีความสามารถในการตอบสนองต่อข้อมูลที่ไม่เคยเห็น
6. ความรู้จะกระจายอยู่ทั่วทั้งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

3.3.2 ลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียม

ลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียมมีดังนี้คือ

1. ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการฝึกสอนประกอบด้วยองค์ประกอบหลายๆ ค่า
2. เอาท์พุตที่ต้องการสามารถเป็นค่าจำนวนเต็ม หรือจำนวนจริงหรือเป็นเวกเตอร์ของจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงก็ได้
3. ตัวอย่างของข้อมูลสามารถมีความผิดพลาดปะปนอยู่ได้
4. ไม่มีปัญหากับขั้นตอนการฝึกหัดซึ่งอาจใช้เวลานานมาก
5. ต้องการประเมินผลเอาท์พุตอย่างรวดเร็ว
6. ไม่ต้องการเข้าใจวิธีการแก้ปัญหา ต้องการให้ปัญหาได้รับการแก้ไขเท่านั้น

โครงข่ายประสาทเทียมอาจพิจารณาให้เป็นขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์(Mathematical algorithm) ของโครงข่ายประสาทชีวภาพ โดยตั้งบนพื้นฐานดังนี้

1. หน่วยประมวลผลเรียกว่า นิวรอน การส่งผ่านข้อมูลระหว่างนิวรอนทำได้โดยการเชื่อมโยงระหว่างนิวรอน
2. การเชื่อมโยงแต่ละส่วนจะขึ้นอยู่กับค่าการเชื่อมโยงหรือค่าถ่วงน้ำหนัก
3. ข้อมูลเอาท์พุตถูกกำหนดด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function) ซึ่งปกติความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของข้อมูลอินพุตที่คูณด้วยค่าการเชื่อมโยงกับข้อมูลเอาท์พุตเป็นความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น(Non-linear)

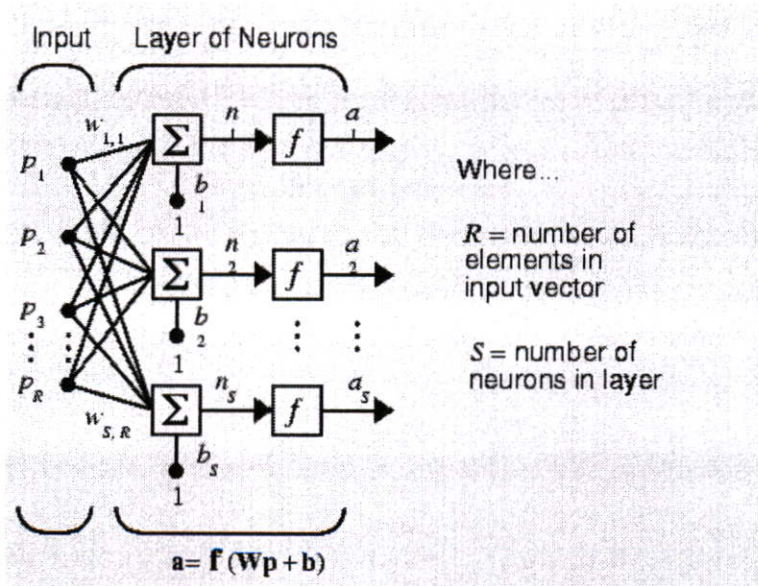
คุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียมจึงถูกกำหนดด้วยองค์ประกอบทั้งสามส่วน นั่นคือ ส่วนแรกในข้อ 1. เป็นรูปแบบการเชื่อมโยงระหว่างนิวรอนเรียกส่วนนี้ว่า โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนต่อไปในข้อ 2 เป็นการกำหนดค่าของการเชื่อมโยงเรียกส่วนนี้ว่า ขั้นตอนวิธีการฝึกสอนหรือการเรียนรู้ ส่วนสุดท้ายคือข้อ3 เกี่ยวกับการกำหนดข้อมูลเอาท์พุตโดยฟังก์ชันกระตุ้น

3.4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม(Architectures of Neural Networks)

ในการสร้างเซลล์ประสาทเพียง 1 เซลล์ โดยใช้แนวความคิดจากเซลล์ประสาทชีวภาพ การจะนำเซลล์ประสาทเทียมมาใช้งานได้นั้น ต้องใช้เซลล์ประสาทเทียมที่มีคุณลักษณะต่างๆ กัน(ค่าถ่วงน้ำหนักจะทำให้คุณสมบัติของเซลล์ประสาทเทียมแต่ละเซลล์มีคุณลักษณะแตกต่างกันไป) มาเชื่อมต่อเซลล์ประสาทหลายๆ ตัวเข้าด้วยกันให้เกิดเป็นลักษณะของโครงข่ายเป็นชั้น ๆ หรือที่เรียกว่า(Layer) ซึ่งเซลล์ประสาทแต่ละตัวที่อยู่ในชั้นเดียวกันจะไม่มี การเชื่อมต่อถึงกัน ประเภทของโครงสร้างการเชื่อมต่อโครงข่ายประสาทเทียมพอจะแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว(Single Layer Neural Network), โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น(Multiple Layer Neural Network) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบแลตทิซ(Lattice Neural Network) ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณลักษณะเด่นที่แตกต่างกันไป

3.4.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว(Single Layer Neural Networks)

ประกอบด้วยเซลล์ประสาทที่จัดเรียงตัวอยู่ในชั้นต่างๆ อันได้แก่ ชั้นอินพุต และชั้นเอาต์พุต สาเหตุที่จัดโครงสร้างแบบนี้เป็นแบบชั้นเดียว เนื่องมาจากเรารับชั้นเอาต์พุตเพียงชั้นเดียวเท่านั้นว่าเป็นชั้นของเซลล์ประสาท สำหรับชั้นอินพุตเราไม่พิจารณาว่าเป็นชั้นของเซลล์ประสาทก็เพราะเป็นชั้นที่ไม่มีการประมวลใดๆ จะทำหน้าที่เพียงแต่รับข้อมูลอินพุตเข้ามาและส่งต่อให้กับชั้นถัดไปเท่านั้น รูปที่ 3.4 แสดง โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

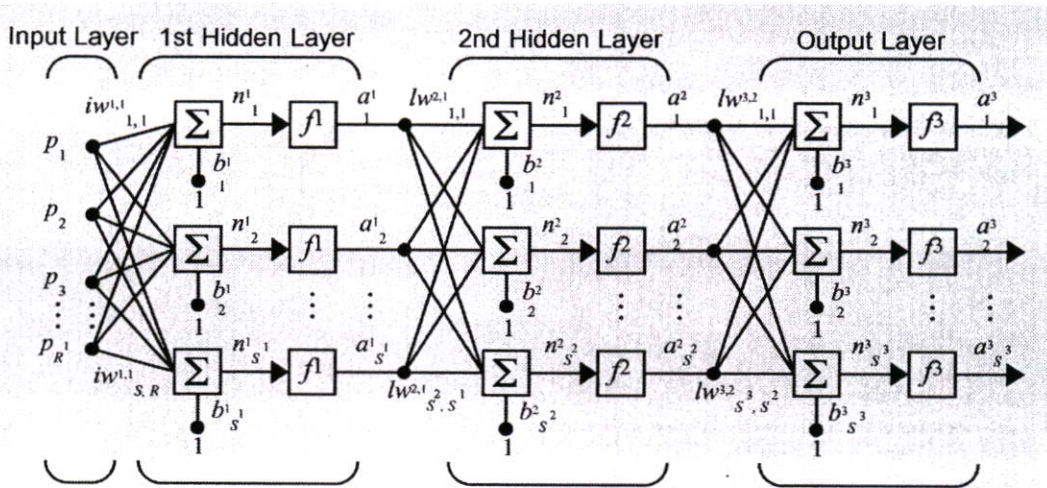


รูปที่ 3.4 แสดง โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

3.4.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network)

เนื่องจากในปี 1969 Minsky และ Seymour Papert ได้พิสูจน์ให้เห็นว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวมีข้อจำกัดไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาต่างๆ ในบางกรณีได้ นักวิจัยจึงได้นำเสนอรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากการจัดเรียงตัวของเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป(ไม่นับรวมชั้นอินพุต) โดยปกติโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นจะประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวหลายตัวต่ออยู่ในโครงสร้างที่มีลำดับชั้นลดหลั่นกันลงไปโดยอยู่ในรูปของการทำงานที่ป้อนไปข้างหน้า (Feedforward) ซึ่งชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต เรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งชั้นซ่อนนี้เองเป็นตัวเพิ่มความสามารถให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม ทั้งนี้จำนวนของชั้นซ่อนสามารถมีได้มากกว่า 1 ชั้น จำนวนของชั้นซ่อนและจำนวนของนิวรอนในแต่ละชั้นจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งแต่ละชั้นอาจจะมีจำนวนนิวรอนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน จึงเป็นคำถามที่ว่าผู้พัฒนาจะต้องใช้จำนวนชั้นซ่อนเท่าใด และจำนวนนิวรอนต่อชั้นเป็นเท่าใด โดยปกติจะใช้กระบวนการตัดและพยายาม (Cut and Try Process) นั่นคือใช้นิวรอนให้เยอะๆ ไว้ก่อน แล้วค่อยๆ ลดลงมาจนได้จำนวนน้อยที่สุดที่โครงข่ายประสาทเทียมยังคงเรียนรู้ได้ โดยเทคนิคนี้จะเรียกว่า พруนิง (Pruning)

อีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้แน่ใจว่าตัวอย่างที่ใช้ในกระบวนการฝึกสอนโครงข่ายนั้นพอที่จะครอบคลุมข้อมูลทั้งหมดได้ ก็คือพยายามใช้ตัวอย่างที่มีจำนวนมากในการฝึกสอนโครงข่าย เพื่อที่ว่าความรู้ที่มากขึ้นจะเป็นข้อมูลในการสร้างผลตอบสนองของโครงข่ายได้ดีขึ้น



รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

จากรูปที่ 3.5 ชุดข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากชั้นที่ 1 จะถูกส่งเป็นข้อมูลอินพุตสำหรับชั้นต่อไป โดยค่าเอาต์พุตในชั้นสุดท้าย ซึ่งก็คือเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่า

ความผิดพลาดกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ(Target Output) ค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จํานำไปใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมให้เปลี่ยนไปในทางที่ถูกต้องมากขึ้น

3.5 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก

ค่าถ่วงน้ำหนักมีความสัมพันธ์กับอะไรและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร? นั่นก็เช่นเดียวกันกับเด็กที่คลอดออกมาก็มีสมองแล้วแต่สมองยังไม่เจริญเติบโตเพียงพอ และยังไม่ได้รับการฝึกสอนและเรียนรู้ เด็กจึงไม่สามารถทำกิจกรรมใดๆ ได้ด้วยตัวเอง เว้นแต่กิจกรรมที่ธรรมชาติสร้างมาพร้อมกับการกำเนิดที่เรียกว่า “สัญชาตญาณ” ซึ่งธรรมชาติใส่คุณลักษณะบางอย่างให้เซลล์สมองบางส่วนตั้งแต่ทารกเจริญเติบโตอยู่ในครรภ์มารดา เช่นระบบควบคุมการหายใจ, การเรียกร้องเมื่อหิว, ความรู้สึก เป็นต้น เด็กจะพัฒนาการเรียนรู้ไปตามขั้นตอน หลังจากนั้นสมองของเขาจะได้รับการฝึกสอนและเจริญเติบโตพร้อมกัน เซลล์สมองจะได้รับการปรับคุณลักษณะสอดคล้องกับการฝึกสอน และจะเจริญเติบโตเป็นโครงข่ายสอดคล้องกัน

โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นมามีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ เมื่อสร้างเสร็จแต่ละเซลล์ประสาทที่สร้างขึ้นมานั้น จะไม่มีคุณลักษณะใดเลย เนื่องจากยังไม่มีกำหนดค่าซินแนปติกส์เวกซ์ที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการให้กับมัน จึงต้องมีการฝึกสอนเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นมีคุณลักษณะตามที่ต้องการ การฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมจะกระทำโดยการปรับเปลี่ยนค่าซินแนปติกส์เวกซ์ที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการให้กับมัน จึงต้องมีการฝึกสอนเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นมีคุณลักษณะตามที่ต้องการ การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะกระทำโดยการปรับเปลี่ยนค่าซินแนปติกส์เวกซ์ เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมจดจำรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตได้ โดยในขั้นตอนแรกอาจกำหนดเป็นค่าสุ่มใดๆ (Random weight) ก่อนแล้วถึงปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักไปตามอัลกอริทึมสมมุติฐานหลายๆ รอบ จนกว่าจะได้เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมเหมือนกับเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ต้องการในเงื่อนไขความผิดพลาดที่ยอมรับได้

เนื่องจากการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักที่เป็นค่าสุ่มใดๆ โครงข่ายประสาทเทียมจึงไม่สามารถแสดงคุณลักษณะใดออกมา การฝึกสอนให้โครงข่ายก็คือ การปรับค่าถ่วงน้ำหนักทุกๆ จุดให้สอดคล้องกับอินพุตหลายๆ แบบ เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตตามต้องการนั่นเอง การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องบรรลุถึงกระบวนการเข้าใจพื้นฐานเสียก่อน คือการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมนั้นก็มีขีดจำกัด ปัญหาต่างๆ ผู้ใช้คงต้องแก้ไขให้มันก่อนแล้วนำผลนั้นไปอ้างอิงสำหรับการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก หลังจากปรับจนได้ค่าผิดพลาดที่เอาต์พุตเทียบกับเอาต์พุตเป้าหมายน้อยลงเป็นที่พอใจแล้ว โครงข่ายประสาทเทียมนั้นก็พร้อมที่จะวิเคราะห์อินพุตและให้เอาต์พุตตามลักษณะตัวอย่างที่เคยเรียนรู้มา การเรียนรู้จะมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักหลายๆ รอบจน

ค่าถ่วงน้ำหนักสอดคล้องกับตัวอย่างหลายๆ ตัวอย่าง แล้วจะสามารถให้เอาต์พุตได้ตามต้องการ พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ตัวอย่างสำหรับการปรับสอนมากๆ โครงข่ายก็จะมีความแม่นยำสูงขึ้น แต่ก็ใช้เวลาในการปรับสอนเพิ่มขึ้นเช่นกัน

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการเรียนรู้คือการเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Learning) และการเรียนรู้แบบอิสระ (Unsupervised Learning)

3.5.1 การเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Learning)

การเรียนรู้แบบนี้จะมีการกำหนดคู่ของการฝึกสอนระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียม ที่เรียกว่า เทรนนิ่งเพอร์ (Training pairs) โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกสอนไปตามจำนวนของคู่ที่ป้อน (จำนวนคู่ของอินพุตกับเอาต์พุตที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมรู้จัก) เอาต์พุตที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกเปรียบเทียบกับสอดคล้องกับเป้าหมาย ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนกลับไปยังโครงข่ายประสาทเทียมและเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักให้สอดคล้องกับอัลกอริทึม ที่ทำให้แนวโน้มของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างเอาต์พุตกับเป้าหมายโดยเฉลี่ยมีค่าลดต่ำลง หลังจากการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกทดสอบโดยใช้เฉพาะค่าอินพุต แต่ไม่ให้ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ และพิจารณาเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการหรือไม่

3.5.2 การเรียนรู้แบบอิสระ (Unsupervised Learning)

ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมแบบควบคุมสามารถประยุกต์ใช้เพื่อปรับคุณลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมได้สำเร็จแต่ก็ยังมีข้อด้อยอยู่ คือมันเป็นไปอย่างแบบชีวภาพไม่ได้ และยากที่จะเชื่อได้ว่า กลไกการปรับสอนของสมองที่ต้องการ การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ต้องการกับเอาต์พุตจริง โดยกระบวนการป้อนกลับไปแก้ไขคุณของโครงข่ายประสาทเทียม และถ้าสมมุติว่าสมองมีกลไกเช่นนี้ ต้องมีผู้หาเอาต์พุตที่ต้องการเพื่อนำมาเป็นเป้าหมายตลอดเวลา และจะเอามาจากที่ใดกล่าวโดยสรุปก็คือ ต้องมีผู้คิดเป้าหมายให้กับโครงข่ายประสาทเทียมก่อน โครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถคิดและปรับปรุงคุณลักษณะได้ก่อนด้วยตัวเอง ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาทารกแรกเกิดสมองของเขาสามารถจัดระบบเองได้อย่างไร การปรับสอนอิสระที่สร้างขึ้นยังคงห่างไกลความเป็นไปได้ที่จะมีลักษณะการปรับสอนแบบระบบของสมองจนกระทั่งมีการพัฒนาการปรับสอนแบบอิสระนี้ขึ้นราวปี 1984 โดยโคโฮเนน (Kohonen) และคณะได้เสนอแนวคิดการปรับสอนแบบไม่ต้องการเป้าหมายไม่มีการตัดสินใจด้วยเหตุผลในอุดมคติมาก่อน ชุดของการปรับสอนจะมีเพียงอินพุตเวกเตอร์เท่านั้นอัลกอริทึมปรับสอนจะเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อสร้างเอาต์พุตที่มีความมั่นคง ถ้าเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยโครงข่ายประสาทเทียมก็ยังสามารถบอกได้ว่าคือเอาต์พุตตัวเดิม การฝึกสอนวิธีนี้จะไม่แก้ปัญหาคับข้องใจได้ ดังนั้น

จึงนิยมใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบนี้กับงานง่ายๆ ประเภทการเปรียบเทียบเอกลักษณ์รูปแบบที่สัมพันธ์กันระหว่างอินพุตและเอาต์พุต ที่ถูกกำหนดโดยโครงข่ายประสาทเทียม

3.6 ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function)

ฟังก์ชันกระตุ้นหรือหนังสือบางเล่มเรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอน(Transfer Function) เป็นตัวกำหนดค่าเอาต์พุต ฟังก์ชันกระตุ้นที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมมีอยู่หลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.2 เราอาจแบ่งฟังก์ชันกระตุ้นพื้นฐานออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. ฟังก์ชันเทรสโฮลด์ (Threshold Function หรือ Hard Limit Function หรือ Step Function)
2. ฟังก์ชันเชิงเส้นอิ่มตัว (Saturating Linear Function หรือ Piecewise Linear Function)
3. ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function)

จากฟังก์ชันกระตุ้นพื้นฐานทั้ง 3 ชนิด ฟังก์ชันซิกมอยด์เป็นฟังก์ชันที่ได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นฟังก์ชันกระตุ้นในโครงข่ายประสาทเทียมกันมาก เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ(Smoothness) นอกเหนือจากฟังก์ชันกระตุ้นพื้นฐานทั้งสาม แล้วยังสามารถนำความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลในรูปแบบอื่นๆ มาเป็นฟังก์ชันกระตุ้นได้ ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันกระตุ้นแบบคอมแพติทิฟ(Competitive Function)

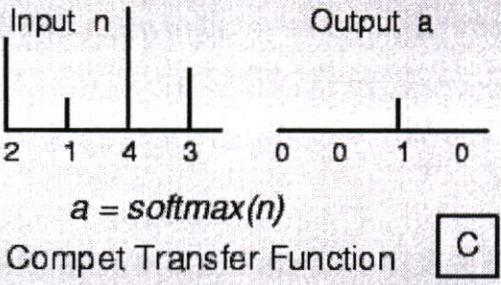
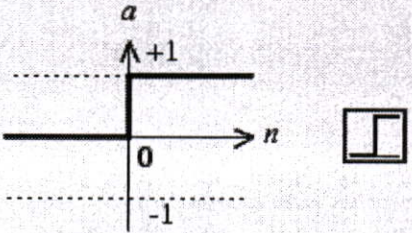
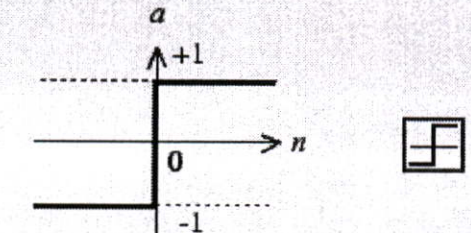
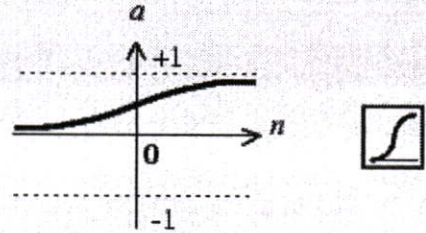
โดยทั่วไปฟังก์ชันกระตุ้นจะจำกัดช่วงเอาต์พุตอยู่ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ในการประยุกต์ใช้งานบางกรณีอาจมีความจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันที่ได้ค่าออกมานอกเหนือช่วงดังกล่าว เช่นต้องการเอาต์พุตอยู่ในช่วงตั้งแต่ -1 ถึง +1 สำหรับการพิจารณาเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบใดนั้นนับจนถึงปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดที่แน่นอน แต่อาจจะพิจารณาจากองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. ความเป็นเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น
2. ลักษณะของข้อมูลอินพุต
3. ขอบเขตที่ต้องการและลักษณะของข้อมูลเอาต์พุต
4. ปัจจัยอื่นที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบแทนของนิเวรอนหรือโครงข่ายประสาทเทียม

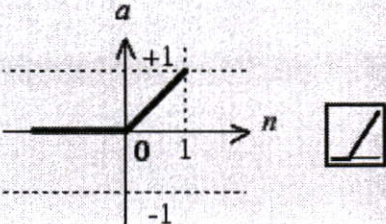
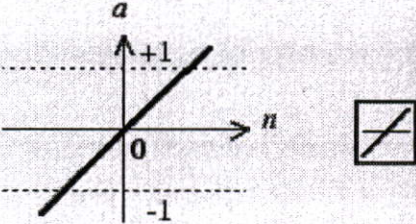
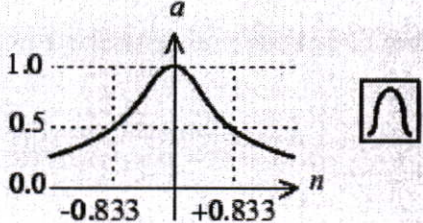
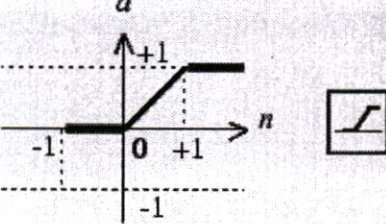
โดยรวม

ในบางครั้งอาจเลือกใช้ฟังก์ชันสโตกาสติก(Stochastic Function) เป็นฟังก์ชันกระตุ้นในกรณีที่ค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลอินพุตมีนัยสำคัญ หรือในบางกรณีอาจเลือกใช้ฟังก์ชันแบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นในโครงข่ายประสาทเทียมเดียวกัน ตัวอย่างเช่น โครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF ซึ่งใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นในชั้นซ่อน(Hidden Layer) ของโครงข่ายประสาทเทียมขณะที่ชั้นเอาต์พุต(Output Layer) ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเป็นเชิงเส้น

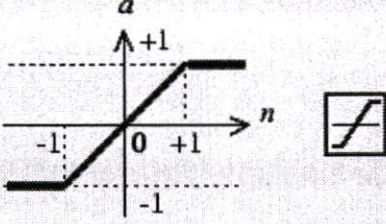
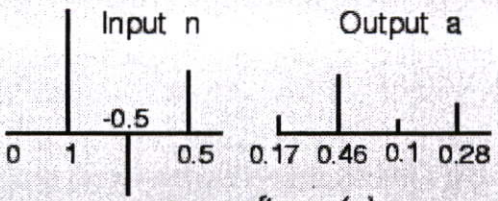
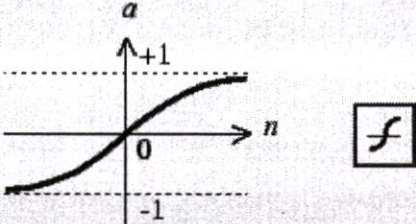
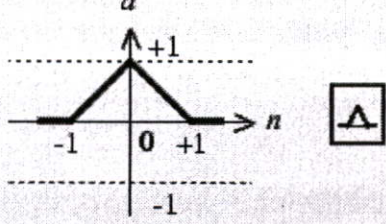
ตารางที่ 3.2 แสดงชนิดฟังก์ชันกระตุ้น[6]

ชนิดฟังก์ชันกระตุ้น	สมการฟังก์ชันกระตุ้น
<p>Input n Output a</p>  <p>$a = \text{softmax}(n)$ Compet Transfer Function C</p>	$a(n_i) = \begin{cases} 1; & i = i^* \\ 0; & i \neq i^* \end{cases}$
 <p>$a = \text{hardlim}(n)$ Hard-Limit Transfer Function L</p>	$a(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } n \geq 0 \\ 0 & \text{if } n < 0 \end{cases}$
 <p>$a = \text{hardlims}(n)$ Symmetric Hard-Limit Trans. Funct. S</p>	$a(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } n \geq 0 \\ 0 & \text{if } n < 0 \end{cases}$
 <p>$a = \text{logsig}(n)$ Log-Sigmoid Transfer Function S</p>	$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

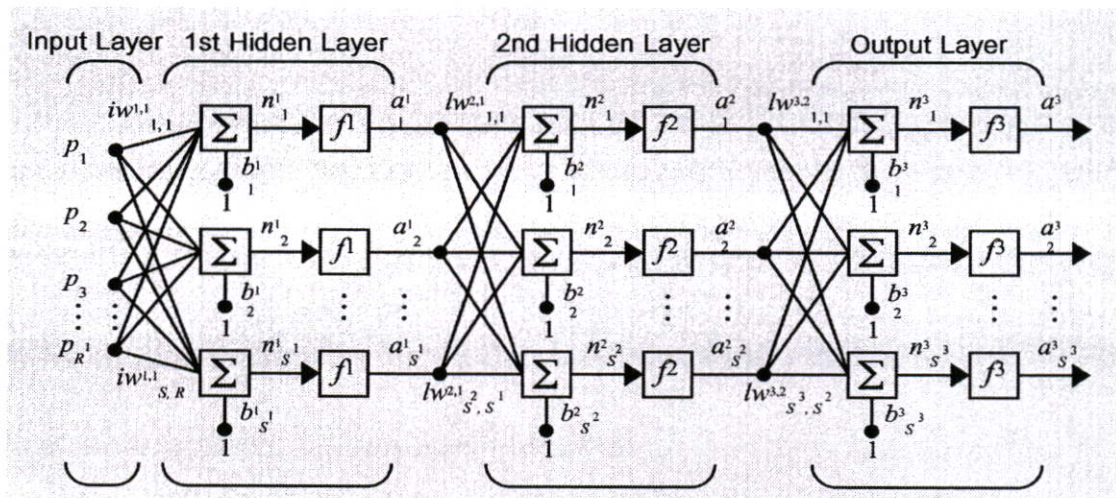
ชนิดฟังก์ชันกระตุ้น	สมการฟังก์ชันกระตุ้น
 <p>$a = \text{poslin}(n)$</p> <p>Positive Linear Transfer Funct.</p>	$a(n) = \begin{cases} n & \text{if } n \geq 0 \\ 0 & \text{if } n < 0 \end{cases}$
 <p>$a = \text{purelin}(n)$</p> <p>Linear Transfer Function</p>	$a(n) = n$
 <p>$a = \text{radbas}(n)$</p> <p>Radial Basis Function</p>	$a(n) = e^{-n^2}$
 <p>$a = \text{satlin}(n)$</p> <p>Satlin Transfer Function</p>	$a(n) = \begin{cases} 0 & n \leq -1 \\ n & \text{if } -1 < n < 1 \\ 1 & n \geq 1 \end{cases}$

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ชนิดฟังก์ชันกระตุ้น	สมการฟังก์ชันกระตุ้น
 <p>$a = \text{satlins}(n)$</p> <p>Satlins Transfer Function</p>	$a(n) = \begin{cases} -1 & n \leq -1 \\ n & \text{if } -1 \leq n \leq 1 \\ 1 & 1 \leq n \end{cases}$
 <p>$a = \text{softmax}(n)$</p> <p>Softmax Transfer Function</p>	$a(n) = \frac{e^n}{\sum e^n}$
 <p>$a = \text{tansig}(n)$</p> <p>Tan-Sigmoid Transfer Function</p>	$a(n) = \frac{1 - e^{(-2n)}}{1 + e^{(-2n)}}$
 <p>$a = \text{tribas}(n)$</p> <p>Triangular Basis Function</p>	$a(n) = \begin{cases} 1 - n & \text{if } -1 \leq n \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

3.7 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation Neural Network (BP)

ประกอบด้วยนิวรอนเซลล์ที่เรียงกันอยู่มากกว่า 2 ชั้น กล่าวคือมีได้ตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป ซึ่งประกอบด้วยชั้นอินพุต(Input Layer), ชั้นซ่อน(Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต(Output Layer) ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้เป็นโครงข่ายที่ป้อนไปข้างหน้า โดยมีการเชื่อมโยงในแต่ละชั้นแบบต่อถึงกันหมด นั่นคือทุกๆ นิวรอนในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนชั้นแรก และทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนชั้นแรกจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นถัดไป จนในที่สุดทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนสุดท้ายจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นเอาต์พุต จากรูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน



รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน

รูปที่ 3.6 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน มีอินพุต R ชุด, นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ S^1 และ S^2 และมีเอาต์พุต S^3 ชุด สมาชิกของอินพุตเวกเตอร์ P แต่ละตัวจะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w^{1,1}$ (เรียกว่า Input weight, $iw^{1,1}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^1 \cdot R$ และเวกเตอร์ a^1 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของชั้นซ่อนที่ 1 และมีขนาด S^1 จะเป็นอินพุตของชั้นซ่อนที่ 2 ด้วย สมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์ a^1 ก็จะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w^{2,1}$ (เรียกว่า Layer weight, $lw^{2,1}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^2 \cdot S^1$ เช่นเดียวกันกับชั้นซ่อนที่ 1 เวกเตอร์ a^2 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของชั้นซ่อนที่ 2 และมีขนาด S^2 จะเป็นอินพุตของชั้นข้อมูลเอาต์พุต สมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์ a^2 จะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละตัวในชั้นข้อมูลเอาต์พุตด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w^{3,2}$ ($lw^{3,2}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด S^3 จะเป็นผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation จะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ป้อนข้อมูลอินพุตไปข้างหน้า, แพร่ค่าย้อนกลับของค่าผิดพลาดที่เกี่ยวข้อง และปรับค่าถ่วงน้ำหนัก

ระหว่างป้อนไปข้างหน้าจะเริ่มด้วยการกำหนดค่าอินพุตที่ได้รับจากชั้นอินพุตมาคำนวณหาผลรวมที่ได้รับในแต่ละนิวรอน แล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นซ่อนที่ 1 แต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 จะทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นนั้น แล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ต่อไปยังชั้นซ่อนที่อยู่ถัดไป ในชั้นซ่อนที่ 2 แต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 จะทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นนั้น จากนั้นส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังชั้นถัดไป สุดท้ายแต่ละนิวรอนในชั้นเอาต์พุตจะทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นเอาต์พุต เพื่อหาค่าตอบหรือผลตอบสนองของโครงข่ายสำหรับแต่ละรูปแบบข้อมูลที่ป้อนให้ ทิศทางการไหลของข้อมูลเหล่านี้จะเป็นลักษณะเคลื่อนไปข้างหน้าจากชั้นของอินพุต ผ่านชั้นของนิวรอนเซลล์ภายในไปสู่ชั้นเอาต์พุต วิธีการคำนวณของโครงข่ายลักษณะนี้ จึงมีชื่อตามลักษณะดังกล่าวว่า forward propagation

ขั้นต่อไปจะเป็นการคำนวณแบบ backward propagation สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบเทียบกับเอาต์พุตเป้าหมาย เพื่อคำนวณค่าผิดพลาดที่เกี่ยวข้อง แล้วส่งผลต่างระหว่างเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมกับเอาต์พุตเป้าหมายเพื่อคำนวณค่าผิดพลาดที่เกี่ยวข้อง และค่าผลต่างระหว่างเอาต์พุตของโครงข่ายกับเอาต์พุตเป้าหมายที่ได้จากโครงข่ายจะถูกส่งถอยหลังกลับมาถึงชั้นซ่อนที่ 2 และส่งต่อไปยังนิวรอนต่างๆ ภายในชั้นซ่อนที่ 2 แต่ละโนดจะได้รับค่าผิดพลาดเพียงบางส่วนขึ้นอยู่กับว่านิวรอนเซลล์นั้นเป็นตัวที่ส่งผลมากหรือน้อยไปสู่เอาต์พุตนั้น เพื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นเอาต์พุตกับชั้นซ่อนที่ 2 กระบวนการของการส่งค่าความผิดพลาดกลับมานั้นจะทำซ้ำกับชั้นถัดลงมาอีกจนกระทั่งทุกโนดในโครงข่ายได้รับส่วนแบ่งค่าความผิดพลาดนั้น

ขั้นตอนสุดท้ายจะนำค่าผิดพลาดที่ได้มาใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักจะเปลี่ยนไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของค่าผิดพลาดที่ได้รับ กระบวนการจะกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนแรกจนกระทั่งค่าผิดพลาดที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดต่ำสุดที่กำหนดไว้ ต่อไปเป็นรายละเอียดของการทำงานในแต่ละขั้นตอน

3.7.1 แพร่ค่าไปข้างหน้า (Forward Propagation)

เมื่อข้อมูลอินพุตปรากฏบนชั้นอินพุต (P_R , $R = 1, \dots, R$) สัญญาณจากชั้นอินพุตทั้งหมดจะถูกส่งมาตามสายเชื่อมโยงไปยังนิวรอนเซลล์ในชั้นถัดไป แต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 ถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ($iw_{S^1, R}^{1,1} = S^1 = 1, \dots, S^1$) จะทำการคำนวณสัญญาณอินพุตของนิวรอนเซลล์ในชั้นซ่อนที่ 1 ได้จากสมการ

$$net_{S^1} = b_{S^1}^1 + \sum_{R=1}^R iw_{S^1, R}^{1,1} P_R \quad (3.3)$$

ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นเพื่อคำนวณสัญญาณเอาต์พุต (a^1) ในชั้นซ่อนที่ 1

$$a^1 = f(\text{net}_{S^1}) \quad (3.4)$$

เมื่อสัญญาณเอาต์พุต (a^1) ในชั้นซ่อนที่ 1 เอาต์พุตที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นซ่อนที่ 2 โดยแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 ถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ($lw_{S^2,S^1}^{2,1} = S^2 = 1, \dots, S^2$) จะทำการคำนวณสัญญาณอินพุตของนิวรอนเซลล์ในชั้นซ่อนที่ 2 ได้จากสมการ

$$\text{net}_{S^2} = b_{S^2} + \sum_{S^1=1}^{S^1} lw_{S^2,S^1}^{2,1} a^1 \quad (3.5)$$

ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นเพื่อคำนวณสัญญาณเอาต์พุต (a^2) ในชั้นซ่อนที่ 2

$$a^2 = f(\text{net}_{S^2}) \quad (3.6)$$

เมื่อสัญญาณเอาต์พุต (a^2) ในชั้นซ่อนที่ 2 เอาต์พุตที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นเอาต์พุต โดยแต่ละนิวรอนในชั้นเอาต์พุตถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ($lw_{S^3,S^2}^{3,2} = S^3 = 1, \dots, S^3$) จะทำการคำนวณสัญญาณอินพุตของนิวรอนเซลล์ในชั้นเอาต์พุตได้จากสมการ

$$\text{net}_{S^3} = b_{S^3} + \sum_{S^2=1}^{S^2} iw_{S^3,S^2}^{3,2} a^2 \quad (3.7)$$

ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นเพื่อคำนวณสัญญาณเอาต์พุต (a^3) ในชั้นเอาต์พุต

$$a^3 = f(\text{net}_{S^3}) \quad (3.8)$$

3.7.2 แพร่ค่าย้อนกลับของค่าผิดพลาด (Back Propagation of Error)

ในแต่ละนิวรอนของชั้นเอาต์พุตค่าผิดพลาดของโครงข่ายจะเป็นผลต่างระหว่างเอาต์พุตเป้าหมายกับเอาต์พุตของโครงข่าย ($t^3 - a^3$) ค่าผิดพลาดที่ได้จะถูกส่งกลับเข้ามายังโครงข่ายประสาทเทียมในรูปของสัญญาณค่าผิดพลาด(error signal) การหาสัญญาณค่าผิดพลาดที่ชั้นเอาต์พุตหาได้จากสมการ

$$\delta^3 = (t^3 - a^3) f'(\text{net}_{S^3}) \quad (3.9)$$

คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง(ใช้เพื่อปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก ($lw_{S^3,S^2}^{3,2}$ หลังจากนี้) โดยที่ α คือ อัตราการเรียนรู้(Learning rate)

$$\Delta lw_{S^3,S^2}^{3,2} = \alpha \delta^3 a^2 \quad (3.10)$$

คำนวณค่าไบอัส(bias) ที่เกี่ยวข้อง (เพื่อใช้ปรับปรุง b_{S^3} หลังจากนี้)

$$\Delta b_{S^3}^3 = \alpha \delta^3 \quad (3.11)$$

และส่ง δ^3 ไปที่ชั้นซ่อนที่ 2

ในแต่ละนิวรอนของชั้นซ่อนที่ 2 การหาสัญญาณค่าผิดพลาดที่ชั้นซ่อนที่ 2 หาได้จากสมการ

$$\delta^2 = \sum_{S^3=1}^{S^3} \delta^3 lw_{S^3,S^2}^{3,2} f'(net_{S^2}) \quad (3.12)$$

คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง(ใช้เพื่อปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก $lw_{S^2,S^1}^{2,1}$ หลังจากนี้)

$$\Delta lw_{S^2,S^1}^{2,1} = \alpha \delta^2 a^1 \quad (3.13)$$

คำนวณค่าไบอัส (bias) ที่เกี่ยวข้อง (ใช้เพื่อปรับปรุง b_{S^2} หลังจากนี้)

$$\Delta b_{S^2}^2 = \alpha \delta^2 \quad (3.14)$$

และส่ง δ^2 ไปที่ชั้นซ่อนที่ 1

ในแต่ละนิวรอนของชั้นซ่อนที่ 1 การหาสัญญาณค่าผิดพลาดในชั้นซ่อนที่ 1 หาได้จากสมการ

$$\delta^1 = \sum_{S^2=1}^{S^2} \delta^2 lw_{S^2,S^1}^{2,1} f'(net_{S^1}) \quad (3.15)$$

คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง(ใช้เพื่อปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก $lw_{S^1,R}^{1,1}$ หลังจากนี้)

$$\Delta lw_{S^1,R}^{1,1} = \alpha \delta^1 P_R \quad (3.16)$$

คำนวณค่าไบอัส(bias) ที่เกี่ยวข้อง (ใช้เพื่อปรับปรุง $b_{s^1}^1$ หลังจากนี้)

$$\Delta b_{s^1}^1 = \alpha \delta^1 \quad (3.17)$$

3.7.3 ขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และค่าไบอัส (bias)

ถ้าหากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น ค่าผิดพลาดที่คำนวณได้จะถูกลำเอียงมาใช้ในการปรับน้ำหนัก เพื่อให้โครงข่ายได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง การปรับน้ำหนักสำหรับแต่ละนิวรอนในชั้นเอาต์พุต คำนวณได้จาก

$$lw_{S^3, S^2}^{3,2} = lw_{S^3, S^2}^{3,2} + \Delta lw_{S^3, S^2}^{3,2} \quad (3.18)$$

ส่วนการปรับน้ำหนักของชั้นซ่อนที่ 2 การทำงานจะเป็นเช่นเดียวกับสมการที่ 3.18 แต่ตัวแปรต่างๆ จะเป็นของชั้นซ่อนอยู่ สำหรับแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$lw_{S^2, S^1}^{2,1} = lw_{S^2, S^1}^{2,1} + \Delta lw_{S^2, S^1}^{2,1} \quad (3.19)$$

สำหรับแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1

$$iw_{S^1, R}^{1,1} = iw_{S^1, R}^{1,1} + \Delta iw_{S^1, R}^{1,1} \quad (3.20)$$

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะปรับทีละชั้นจากชั้นเอาต์พุตกลับไปยังชั้นอินพุต เมื่อเสร็จสิ้นก็จะกลับไปสู่ส่วนของการป้อนไปข้างหน้าอีกครั้ง เพื่อหาค่าเอาต์พุตของโครงข่ายใหม่มาเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตเป้าหมาย และดำเนินการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในส่วนของแพร์ค่าย้อนกลับเช่นนี้ สลับกันไป โดยวัฏจักรของการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและการปรับน้ำหนักจะคงดำเนินต่อไป จนกระทั่งค่าความผิดพลาดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งแล้วจึงหยุดกระบวนการ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จะเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับทุกคู่ของอินพุตและค่าเป้าหมาย ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation การคำนวณหาความผิดพลาดรวมของตัวอย่าง หาได้จากค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean Square Error, MSE) ระหว่างคำตอบที่แท้จริง (t_j^3) กับผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม (a_j^3) ในสมการ (3.21)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i^3 - a_i^3)^2 \quad (3.21)$$

โดยที่ N = จำนวนชุดของข้อมูลฝึกสอน

ในขั้นตอนการปรับน้ำหนักที่กล่าวมาข้างต้นเป็นหลักการพื้นฐาน แต่สำหรับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัส ของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed Forward Neural Networks โดยใช้ Neural Network Toolbox นั้นมีอยู่หลายวิธี เช่น Levenberg Marquardt Algorithm, Resilient Back Propagation, Conjugate Gradient เป็นต้น แต่ละวิธีจะมีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนแตกต่างกัน ตามที่ระบุไว้ใน Neural Network User's Guide นั้น Levenberg Marquardt Algorithm มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุดใน การศึกษานี้จึงได้นำเอาลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบอัสวิธีนี้มาใช้ โดยมีสมการ การปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัส ดังสมการดังนี้

$$w_{new} = w_{old} + \Delta w \quad (3.22)$$

$$b_{new} = b_{old} + \Delta b \quad (3.23)$$

Levenberg –Marquardt Algorithm ได้ทำการดัดแปลงมาจาก Gauss-Newton Nonlinear Least Squares Optimization Algorithm เพื่อประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ โดยจะทำการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส เพื่อให้ค่าผิดพลาดในรอบต่อไปมีค่าลดลง ค่าน้ำหนัก “w” และค่าไบอัส “b” ในรอบต่อไปจะถูกปรับใหม่ดังนี้

$$\begin{aligned} w_{new} &= w_{old} + \Delta w \\ &= w_{old} + [J^T(w) \cdot J(w) + \mu I]^{-1} \cdot J^T(w) \cdot e \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} b_{new} &= b_{old} + \Delta b \\ &= b_{old} + [J^T(b) \cdot J(b) + \mu I]^{-1} \cdot J^T(b) \cdot e \end{aligned} \quad (3.25)$$

โดยที่ $J(w)$ คือ Jacobian matrix ของอนุพันธ์ค่าความผิดพลาดเทียบกับน้ำหนัก

$J(b)$ คือ Jacobian matrix ของอนุพันธ์ค่าความผิดพลาดเทียบกับไบอัส

J^T คือ Transpose matrix ของ J

μ คือ ค่าคงที่มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.001

e คือ เมตริกซ์ค่าผิดพลาดของคำตอบเป้าหมายกับค่าคงที่โครงข่ายประสาทเทียมที่คำนวณได้

I คือ Identity matrix

$$\text{จาโคเบียนเมตริกซ์ของ (w)} \quad J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,S^2}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,S^2}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{S^3}}{\partial w_{S^3,1}} & \frac{\partial e_{S^3}}{\partial w_{S^3,2}} & \dots & \frac{\partial e_{S^3}}{\partial w_{S^3,S^2}} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

$$\text{จาโคเบียนเมตริกซ์ของค่า (b)} \quad J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{S^3}}{\partial b_{S^3}} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

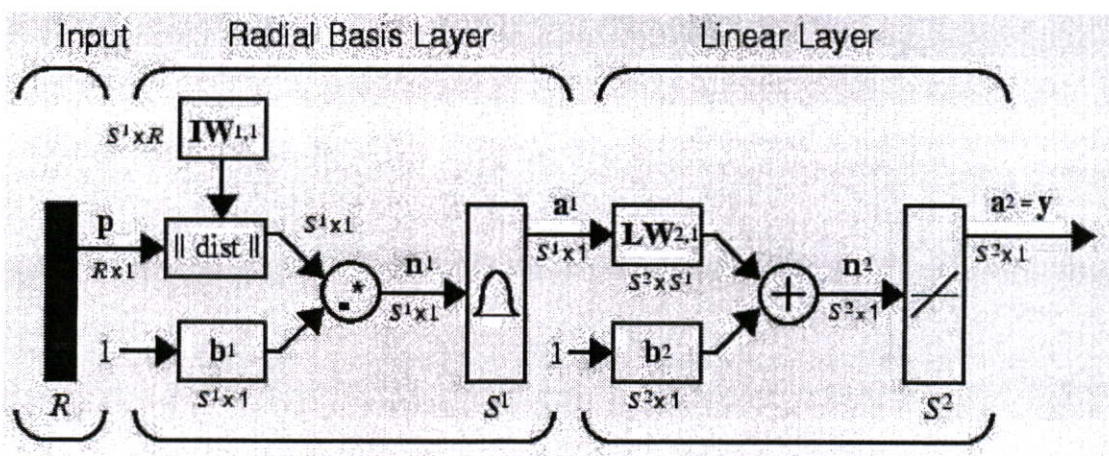
$$\text{เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด} \quad \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{S^3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1^3 - a_1^3 \\ t_2^3 - a_2^3 \\ \vdots \\ t_{S^3}^3 - a_{S^3}^3 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมวิธี Levenberg –Marquardt Algorithm ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

โครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนด้วยกฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับนั้น จะมีจำนวนนิวรอนในชั้นข้อมูลอินพุต และชั้นข้อมูลเอาต์พุตคงที่ ซึ่งเท่ากับจำนวนของอินพุต และเอาต์พุตของปัญหานั้นเอง ส่วนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนนั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม และไม่มีจำนวนที่เป็นสูตรสำเร็จ ดังนั้นในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน เพื่อหาโครงสร้างของโครงข่ายที่ให้ค่าผิดพลาดระหว่างคำตอบที่แท้จริงกับผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมต่ำที่สุด(มีประสิทธิภาพสูงที่สุด) จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนนอกจากจะมีผลต่อประสิทธิภาพโครงข่ายประสาทเทียมแล้วยังมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนอีกด้วย โครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนน้อยด้วยเงื่อนไขเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมากจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนน้อย

3.8 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Radial Basic Function Neural Network (RBF)

โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Radial Basic Function Neural Network (RBF) ประกอบด้วยนิวรอนเซลล์ที่เรียงกันอยู่มากกว่า 2 ชั้น กล่าวคือมีได้ตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป ซึ่งประกอบด้วย ชั้นอินพุต(Input Layer), ชั้นซ่อนหรือบางครั้งเรียกว่าชั้นฐานรัศมี(Radial Basic Layer) และชั้นเอาต์พุตหรือบางครั้งเรียกว่า ชั้นเชิงเส้น(Linear Layer) ลักษณะของโครงข่ายชนิดนี้เป็นโครงข่ายที่ป้อนไปข้างหน้า โดยมีการเชื่อมโยงในแต่ละชั้นแบบต่อถึงกันหมด นั่นคือ ทุกๆ นิวรอนในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นฐานรัศมี และทุกๆ นิวรอนในชั้นฐานรัศมีจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นเอาต์พุต จากรูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดฟังก์ชันฐานรัศมี



รูปที่ 3.7 แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF

จากรูปโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF มีอินพุต R ชุด, นิวรอนในชั้นฐานรัศมี เท่ากับ S^1 และมีเอาต์พุต S^2 ชุด สมาชิกของอินพุตเวกเตอร์ P แต่ละตัวจะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้น Radial Basic Layer ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w^{1,1}$ (เรียกว่า Input weight, $iw^{1,1}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^1 \times R$ และเวกเตอร์ a^1 ก็จะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้นเชิงเส้น หรือชั้นเอาต์พุต สมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์ a^1 ก็จะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้นเชิงเส้น ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w^{2,1}$ (เรียกว่า Layer weight, $lw^{2,1}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^2 \times S^1$ เช่นเดียวกับชั้น Radial Basic Layer โดยที่เวกเตอร์ a^2 ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด S^2 และจะเป็นผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF จะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือป้อนข้อมูลอินพุตไปข้างหน้า และกระบวนการปรับน้ำหนักด้วย OLS

ขั้นตอนการป้อนข้อมูลอินพุตป้อนไปข้างหน้าจะเริ่มต้นด้วยการนำค่าอินพุตที่ได้รับจากชั้นอินพุตมาคำนวณหาระยะห่างกับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละนิวรอน แล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ส่งต่อไปคำนวณฟังก์ชันกระตุ้นชนิด Radial Basic Function จากนั้นส่งผลลัพธ์ที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นเอาต์พุตซึ่งอยู่ถัดไป ในชั้นเอาต์พุตแต่ละนิวรอนในชั้นเอาต์พุตจะทำการคำนวณหาผลรวมที่ได้รับในแต่ละนิวรอนกับค่าไบอัส แล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ส่งไปคำนวณกับฟังก์ชันกระตุ้นชนิดเชิงเส้น เพื่อหาคำตอบหรือผลตอบสนองของโครงข่ายสำหรับแต่ละรูปแบบข้อมูลที่ป้อนให้ ทิศทางการไหลของข้อมูลเหล่านี้จะเป็นลักษณะเคลื่อนไปข้างหน้า

ขั้นตอนต่อมาจะนำค่าความผิดพลาดที่ได้มาใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยกระบวนการเรียนรู้ Orthogonal Least Squares(OLS) [7] โดยในขั้นตอนนี้ค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นฐานรัศมีจะเปลี่ยนไปตามจำนวนนิวรอนในชั้นฐานรัศมี ($MN = 1, \dots, N$) และจะทำซ้ำกระบวนการนี้ไปจนกระทั่งจำนวนนิวรอนในชั้นฐานรัศมีมีค่าเท่ากับจำนวนชุดฝึกสอน หรือจนกว่าค่าผิดพลาดที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดผลรวมยกกำลังสอง (Sum Square Error, SSE) ที่ได้กำหนดไว้ในสมการ (3.29) จึงจะไม่มีกรปรับค่าถ่วงน้ำหนักใดๆ ทั้งสิ้น

$$SSE = \sum_{i=1}^N (t_i^2 - a_i^2)^2 \quad (3.29)$$

รายละเอียดของการทำงานในแต่ละขั้นตอนเมื่อข้อมูลอินพุตปรากฏบนชั้นอินพุต ($P_R, R = 1, \dots, R$) สัญญาณจากชั้นอินพุตทั้งหมดจะถูกส่งมาตามสายเชื่อมโยงไปยังนิวรอนเซลล์ในชั้นถัดไป ในช่วงรอบแรกๆ แต่ละนิวรอนในชั้น Radial Basic Layer ถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ($iw_{MN,R}^{1,1} = MN = 1, \dots, N$) โดยจะกำหนดให้มีขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักในชั้น Radial Basic Layer มีขนาดเล็กแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักขึ้นตามจำนวนรอบที่คำนวณ จะคำนวณสัญญาณเอาต์พุตของนิวรอนเซลล์ (a^1) ได้จากสมการ

$$a_{MN}^1 = \exp\left(-\frac{\|P_R - iw_{MN,R}^{1,1}\|^2}{2\sigma_{MN}^2}\right) \quad (3.30)$$

จากสมการที่ 3.30 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการใหม่ได้เป็น

$$a^1 = \exp\left(-\sqrt{\sum_{R=1}^R (iw_{MN,R}^{1,1} - P_R)^2 * b_{MN}^1}\right)^2 \quad (3.31)$$

$$\text{โดยที่ } b_{MN}^1 = \frac{\sqrt{-\ln(0.5)}}{\text{spread}} = \frac{0.8326}{\text{spread}} \quad (3.32)$$

Spread คือค่ากระจายของฟังก์ชันกระตุ้นชนิดฐานรัศมี (พิจารณาตามตารางที่ 3.2)

เมื่อสัญญาณเอาต์พุต (a^1) ในชั้นฐานรัศมี เอาต์พุตที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นเอาต์พุต โดยแต่ละนิวรอนในชั้นเอาต์พุตถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่อยู่ในชั้นเอาต์พุต

($lw_{S^2, MN}^{2,1} = S^2 = 1, \dots, S^2$) จะทำการคำนวณสัญญาณอินพุตของนิวรอนเซลล์ในชั้นเอาต์พุตได้จากสมการ

$$\text{net}_{S^2} = b_{S^2}^2 + \sum_{S^1=1}^{S^1} lw_{S^2, MN}^{2,1} a_{MN}^1 \quad (3.33)$$

ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นเพื่อคำนวณสัญญาณเอาต์พุต (a^2) ในชั้นเอาต์พุต

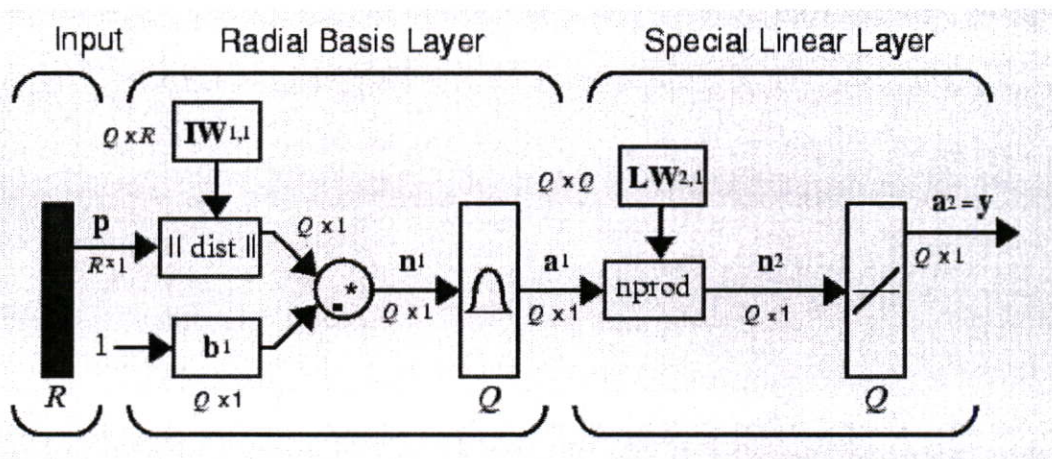
$$a^2 = f(\text{net}_{S^2}) \quad (3.34)$$

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะปรับโดยเพิ่มจำนวนรอบที่ละรอบ และดำเนินการปรับค่าถ่วงน้ำหนักเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าความผิดพลาดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งแล้วจึงหยุดกระบวนการเรียนรู้ OLS ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF นอกจากจะปรับค่าถ่วงน้ำหนักโดยเพิ่มจำนวนรอบแล้ว ยังสามารถทำการเพิ่มค่ากระจายของฟังก์ชันกระตุ้น (*spread*) ควบคู่กันไป เพื่อค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสที่ได้จะเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับทุกคู่ของอินพุตและค่าเป้าหมาย

3.9 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression Neural Network (GRNN)

โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression Neural Networks (GRNN) นั้นจะประกอบไปด้วยชั้นของนิวรอนทั้งหมด 3 ชั้น คือ ชั้นอินพุต (Input Layer) , ชั้นซ่อน (Radial Basis Layer) และชั้นเอาต์พุต

โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression Neural Network นั้นเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะคล้ายกับโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Radial Basis Function Neural Network (RBF) ซึ่งลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองชนิดนี้จะมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกันมาก ดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 โดยในรูปที่ 3.7 เป็นโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Radial Basis Function Neural Network (RBF) และรูปที่ 3.8 จะเป็นโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression Neural Network (GRNN)



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าในชั้นซ่อนหรือชั้น Radial Basis Layer นั้นจะมีลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกัน นั่นคือมีทั้งค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัส แต่ในชั้นเอาต์พุตนั้นจะมีจุดที่แตกต่างกันระหว่างโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 ชนิดนั่นคือ ในโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF นั้นจะมีทั้งค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัส ในขณะที่โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN นั้นจะมีเพียงค่าถ่วงน้ำหนักเพียงค่าเดียว และการหาค่า net_{S^2} ของทั้งสองโครงข่ายประสาทเทียมนี้ก็ใช้สมการที่ใช้ต่างกันด้วยเช่นกัน นั่นคือ

$$net_{S^2} = lw_{S^2, MN}^2 a_{MN}^1 / \sum_{S^1=1}^{S^1} a_{MN}^1 \quad (3.35)$$

บทที่ 4

การใช้ โครงข่ายประสาทดัดเทียมคำนวณค่า SAIFI, SAIDI

4.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในโครงข่ายประสาทดัดเทียม

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ใช้ Reliability Program[1] เพื่อช่วยการเก็บข้อมูลเหตุการณ์ กระแสไฟฟ้าขัดข้องและขอตัดไฟ เพื่อให้ง่ายต่อการเก็บข้อมูล, สามารถแยกสาเหตุของปัญหาที่ทำให้ไฟดับและสามารถรองรับการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ รายงานที่ได้จากโปรแกรมบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ได้แก่

1. รายงานเหตุการณ์ประจำวัน
2. รายงานเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องแยกสถานีไฟฟ้า, เฟดเดอร์, อุปกรณ์
3. รายงานจำนวนครั้ง, ระยะเวลา และอุปกรณ์ป้องกันทำงานสูงสุดในเขต
4. รายงานจำนวนครั้ง, ระยะเวลา และอุปกรณ์ป้องกันทำงานสูงสุด กฟฟ.ชั้น 1-3
5. รายงานเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องเกิน 4 ชั่วโมง
6. รายงานสรุปรวมจำนวนสาเหตุทั้งหมด

รายงานเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องแรงสูง แยกตามวงจรจ่ายไฟ

ถพ.น.3

รายงานเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าที่ขัดข้องแรงสูง แยกตามวงจรจ่ายไฟ

ระบุแบบรายงาน

Excel

ฟอร์มรายงาน

เขต N.3 สถานีไฟฟ้า FXA ไฟลิ่ง FXA.02

ระบุณเลือกรวันที่เริ่มสรุปรายงาน

1 มกราคม 2547

ระบุณเลือกรวันที่สิ้นสุดสรุปรายงาน

31 กรกฎาคม 2547

พิมพ์รายงาน กลับเข้าสู่เมนูหลัก

รูปที่ 4.1 ลักษณะของ โปรแกรมบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าขัดข้อง

4.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่นำมาเป็นข้อมูลอินพุต

ข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายแรงสูงแต่ละครั้ง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ทำการจัดเก็บข้อมูลเหล่านั้นไว้ใน Reliability Program ได้แก่ วัน/เดือน/ปี ที่เกิดไฟฟ้าดับ, เวลาที่ไฟฟ้าดับ, รหัสอุปกรณ์ที่ทำงาน, บริเวณที่ไฟดับ, จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ, ระยะเวลา, สาเหตุที่ไฟดับ, สภาพอากาศ, วิธีการแก้ไข และอื่นๆ

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลต่างๆ ที่จัดเก็บไว้ใน Reliability Program สามารถนำมาทดสอบเพื่อใช้เป็นข้อมูลอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียม มีขั้นตอนดังนี้

1. จากรายงานเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องแยกสถานีไฟฟ้า, ฟีดเดอร์, อุปกรณ์โดยเลือกใช้ตัวอย่างข้อมูลเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 , ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม และเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ช่วงระหว่างเดือน มกราคม ถึง กรกฎาคม 2547 มาทำการทดสอบ

2. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย), ลำดับที่อุปกรณ์ป้องกัน, ฟีดเดอร์ของอุปกรณ์ป้องกัน, จำนวนครั้งที่ไฟดับ(ครั้ง/เดือน), ไฟดับครั้งที่ 1 (นาทิจ), ไฟดับครั้งที่ 2 (นาทิจ), ไฟดับครั้งที่ 3 (นาทิจ), ไฟดับครั้งที่ 4 (นาทิจ), เวลารวมทั้งไฟดับ(นาทิจ/เดือน)และเดือนที่ไฟดับ

3. ทำการแบ่งข้อมูลที่ได้ออกเป็นรายเดือน ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลออกได้เป็น 7 เดือน

4. คำนวณค่าดัชนี SAIFI จากสมการที่ (2.1) ของแต่ละอุปกรณ์ป้องกันที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน

5. คำนวณค่าดัชนี SAIDI จากสมการที่ (2.2) ของแต่ละอุปกรณ์ป้องกันที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน

6. หาผลรวมจำนวนครั้งที่เกิดไฟดับของแต่ละอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานในรอบ 1 เดือน

7. หาเวลารวมที่เกิดไฟดับของแต่ละอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานในรอบ 1 เดือน

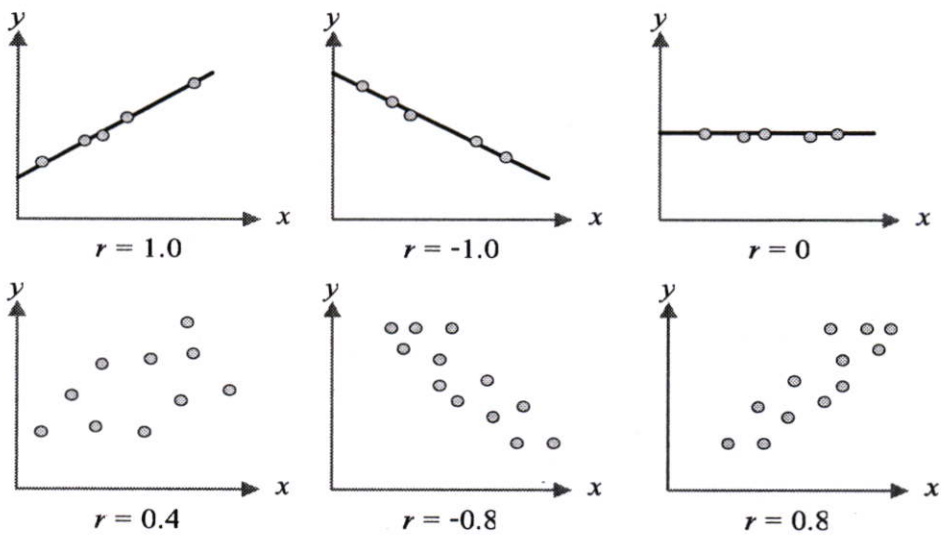
การพิจารณาหาข้อมูลที่ทำกรจัดเก็บ กับค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI, SAIDI ว่าเกี่ยวข้องความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงไรนั้นสามารถทำได้ ซึ่งวิธีหนึ่งที่นิยมใช้สำหรับหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว ได้แก่วิธี Correlation [8]

Corelation (r) เป็นค่าทางสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เมื่อตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนไป อีกตัวแปรหนึ่งจะเปลี่ยนไปในลักษณะเชิงเส้น ซึ่งค่าของ r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 กับ +1 มีสมการดังนี้

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

ความหมายของค่า r

1. ค่า r เป็นลบ แสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม คือถ้า x เพิ่ม y จะลด แต่ถ้า x ลด y จะเพิ่ม
2. ค่า r เป็นบวก แสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือถ้า x เพิ่ม y จะเพิ่มด้วย แต่ถ้า x ลด y จะลดด้วย
3. ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง x และ y สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันมาก
4. ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง x และ y สัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันมาก
5. ถ้า $r = 0$ แสดงว่า x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย
6. ถ้า r เข้าใกล้ 0 แสดงว่า x และ y มีความสัมพันธ์กันน้อย



รูปที่ 4.2 แสดงค่า Correlation ที่มีค่า $-1 < r < 1$

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่า Correlation ระหว่างจำนวนผู้ใช้หลังอุปกรณ์ป้องกัน และ
ค่า SAIFI ของระบบจำหน่ายฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม

i	จำนวนผู้ใช้ไฟ (x_i)	SAIFI (y_i)	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
1	137	0.0339	-9.9143	0.0216	98.2931	0.0005	-0.2142
2	130	0.0080	-16.9143	-0.0042	286.0931	0.0000	0.0714
3	25	0.0015	-121.9143	-0.0107	14863.0931	0.0001	1.3052
4	373	0.0691	226.0857	0.0569	51114.7502	0.0032	12.8605
5	14	0.0017	-132.9143	-0.0105	17666.2073	0.0001	1.3983
6	373	0.0230	226.0857	0.0108	51114.7502	0.0001	2.4404
7	14	0.0009	-132.9143	-0.0114	17666.2073	0.0001	1.5133
8	137	0.0169	-9.9143	0.0047	98.2931	0.0000	-0.0464
9	116	0.0072	-30.9143	-0.0051	955.6931	0.0000	0.1572
10	130	0.0080	-16.9143	-0.0042	286.0931	0.0000	0.0714
11	373	0.0461	226.0857	0.0338	51114.7502	0.0011	7.6505
12	95	0.0059	-51.9143	-0.0064	2695.0931	0.0000	0.3313
13	34	0.0021	-112.9143	-0.0101	12749.6359	0.0001	1.1461
14	137	0.0085	-9.9143	-0.0038	98.2931	0.0000	0.0375
15	32	0.0020	-114.9143	-0.0103	13205.2931	0.0001	1.1806
16	97	0.0060	-49.9143	-0.0063	2491.4359	0.0000	0.3123
17	1	0.0001	-145.9143	-0.0122	21290.9788	0.0001	1.7785
18	1	0.0001	-145.9143	-0.0121	21290.9788	0.0001	1.7695
19	130	0.0080	-16.9143	-0.0042	286.0931	0.0000	0.0714
20	25	0.0015	-121.9143	-0.0107	14863.0931	0.0001	1.3052
21	373	0.0230	226.0857	0.0108	51114.7502	0.0001	2.4404
22	40	0.0025	-106.9143	-0.0098	11430.6645	0.0001	1.0455
23	21	0.0026	-125.9143	-0.0097	15854.4073	0.0001	1.2158
24	137	0.0085	-9.9143	-0.0038	98.2931	0.0000	0.0375
25	649	0.0401	502.0857	0.0278	252090.0645	0.0008	13.9810

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

i	จำนวนผู้ใช้ไฟ (x_i)	SAIFI (y_i)	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
26	373	0.0230	226.0857	0.0108	51114.7502	0.0001	2.4404
27	14	0.0009	-132.9143	-0.0114	17666.2073	0.0001	1.5133
28	21	0.0013	-125.9143	-0.0110	15854.4073	0.0001	1.3791
29	95	0.0117	-51.9143	-0.0005	2695.0931	0.0000	0.0266
30	34	0.0021	-112.9143	-0.0101	12749.6359	0.0001	1.1461
31	137	0.0085	-9.9143	-0.0038	98.2931	0.0000	0.0375
32	95	0.0059	-51.9143	-0.0064	2695.0931	0.0000	0.3313
33	649	0.0401	502.0857	0.0278	252090.0645	0.0008	13.9810
34	116	0.0072	-30.9143	-0.0051	955.6931	0.0000	0.1572
35	14	0.0009	-132.9143	-0.0114	17666.2073	0.0001	1.5133
Σ	5,142	0.4288	0.0000	0.0000	998408.7429	0.0087	76.3859

ค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ใช้ไฟ $\bar{x} = 5,142/35 = 146.91$

ค่าเฉลี่ย SAIFI $\bar{y} = 0.4287656/35 = 0.012250446$

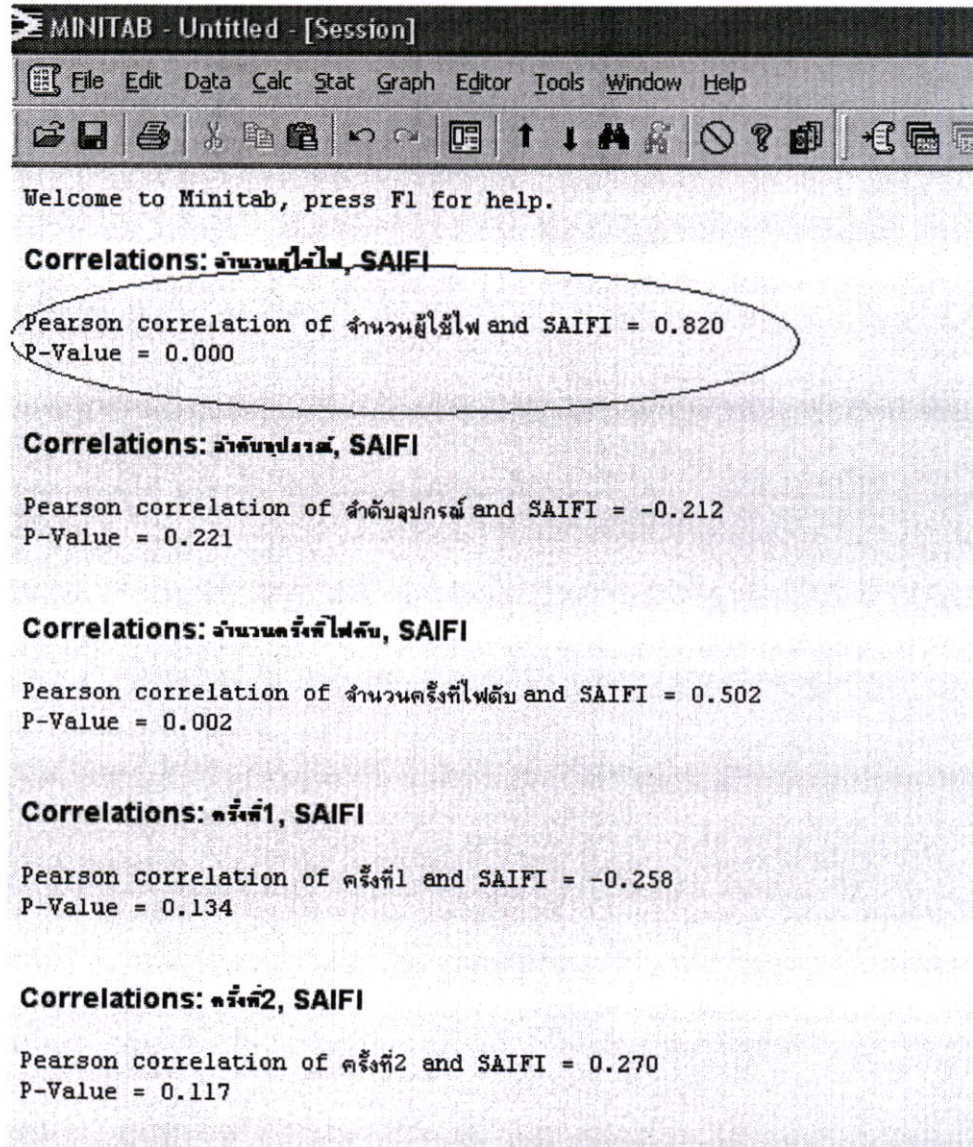
$$\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = 76.3859$$

$$\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{998408.7429} = 999.2041$$

$$\sqrt{\Sigma(y_i - \bar{y})^2} = \sqrt{0.0087} = 0.0933$$

$$r_{xy} = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}} = 76.3859 / (999.2041 \times 0.0933) = 0.8194$$

เมื่อใช้โปรแกรม MINITAB 14 ตรวจสอบอีกครั้งเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนผู้ใช้ไฟ และค่า SAIFI จะได้ค่า Correlation เท่ากับ 0.82 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าจำนวนผู้ใช้ไฟเพิ่ม จะทำให้ค่า SAIFI เพิ่มขึ้นด้วย จากรูปที่ 4.3 ค่า P-Value คือค่าความน่าจะเป็น ถ้าค่า P-Value มีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรนั้นจะเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญสูง (significant)



รูปที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณค่า Correlation ระหว่างข้อมูลอินพุต และ SAIFI ของ ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ด้วยโปรแกรม MINITAB

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการคำนวณค่า Correlation ระหว่างข้อมูลอินพุต และเอาต์พุต(SAIFI, SAIDI) ของ พีคเตอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานนคม และสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี

ข้อมูล อินพุต	ค่า Correlation (r)					
	SAIFI (PXA2)	SAIFI (PXA7)	SAIFI (UAA)	SAIDI (PXA2)	SAIDI (PXA7)	SAIDI (UAA)
จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	0.82	0.925	0.891	0.826	0.827	0.611
ลำดับที่อุปกรณ์	-0.212	-0.56	-0.077	-0.249	-0.558	0.012
พีคเตอร์ของอุปกรณ์	-	-	0.134	-	-	0.181
จำนวนครั้งที่ไฟดับ(ครั้ง/เดือน)	0.502	0.153	0.291	0.368	-0.005	0.376
ไฟดับครั้งที่1 (นาท)	-0.258	-0.142	-0.202	-0.054	0.251	0.049
ไฟดับครั้งที่2 (นาท)	0.270	0.058	0.132	0.333	-0.045	0.323
ไฟดับครั้งที่3 (นาท)	0.613	-0.09	0.237	0.373	-0.09	0.325
ไฟดับครั้งที่4 (นาท)	0.235	-0.048	0.011	0.123	-0.053	0.058
เวลารวมที่ไฟดับ(นาท/เดือน)	0.245	-0.123	0.014	0.35	0.122	0.298
เดือนที่ไฟดับ	-0.166	-0.137	0.022	-0.103	-0.061	0.008

จากวิธีการทำ Correlation ตัวแปรที่มีผลต่อค่า SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน) ที่ถูกนำมาพิจารณาใน วิทยานิพนธ์ นี้ ได้แก่

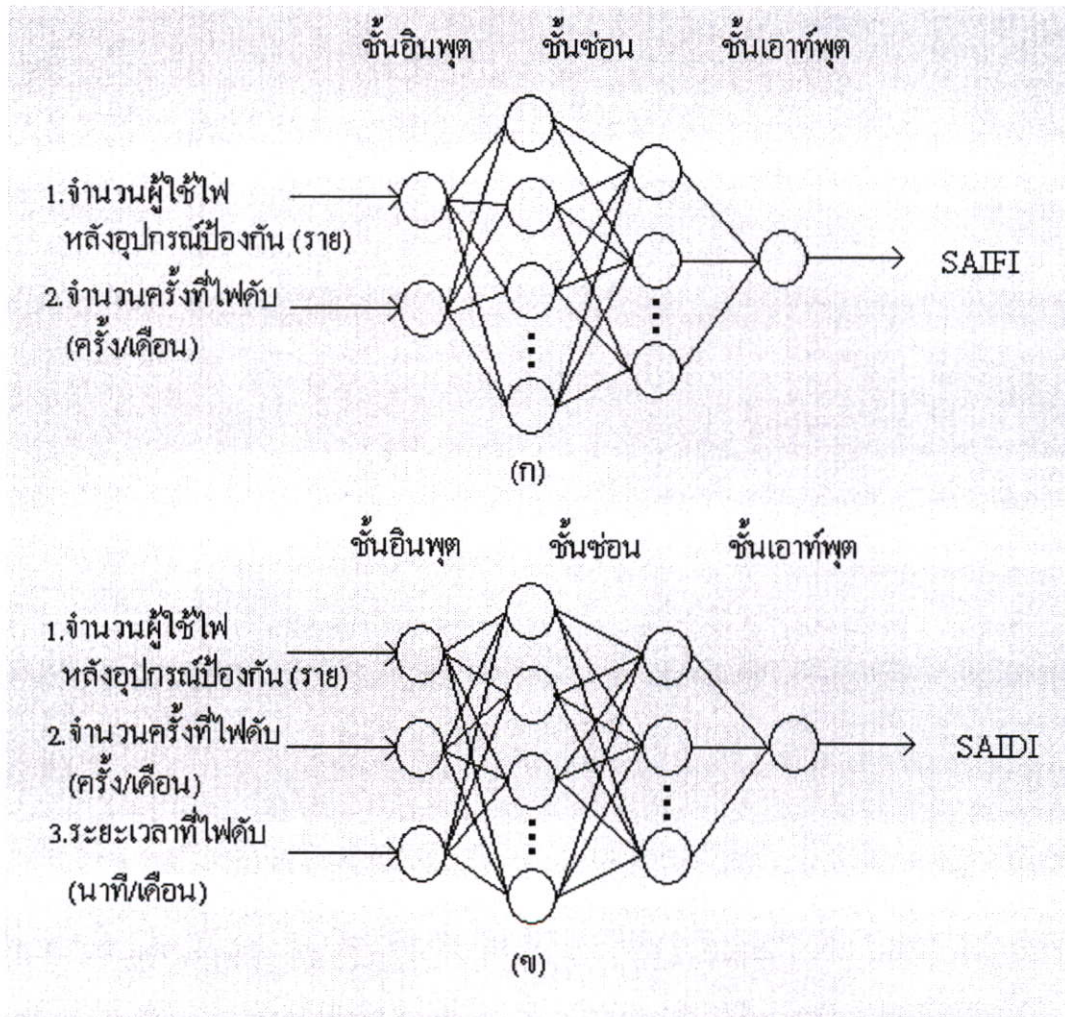
1. จำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน (ราย)
2. จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)

และตัวแปรที่มีผลต่อค่า SAIDI (นาท/ราย/เดือน) ได้แก่

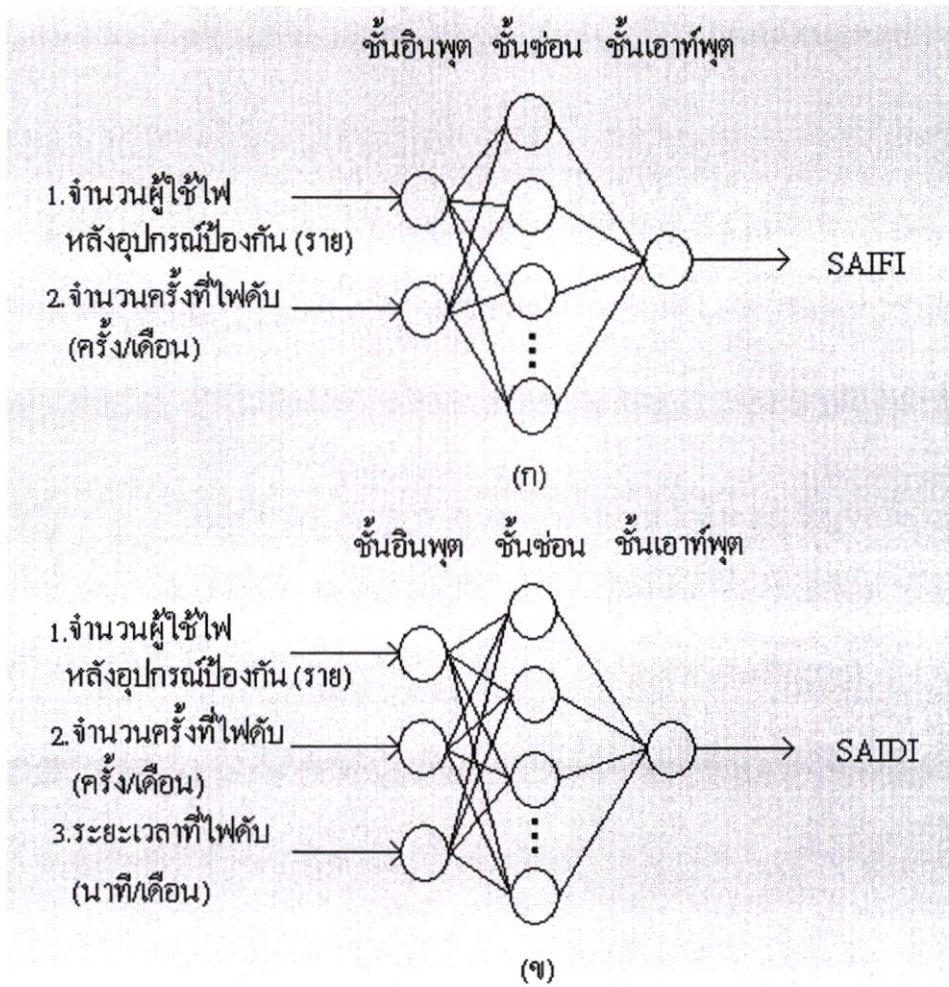
1. จำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน (ราย)
2. จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)
3. ระยะเวลาที่ไฟดับ (นาท/เดือน)

4.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ ชนิด Back Propagation (BP) และ ชนิด Generalized Regression Neural Network (GRNN) ซึ่งทั้งสองชนิดประกอบด้วย ชั้นอินพุต, ชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุต สำหรับโครงสร้างที่ใช้คำนวณค่า SAIFI ประกอบด้วยอินพุต 2 อินพุต ได้แก่ จำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน (ราย) และจำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน) ส่วนโครงสร้างที่ใช้คำนวณค่า SAIDI ประกอบด้วยอินพุต 3 อินพุต ได้แก่จำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน (ราย), จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน) และระยะเวลาที่ไฟดับ (นาทิต/เดือน) สำหรับชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP กำหนดให้มี 2 ชั้นซ่อน ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN มี 1 ชั้นซ่อน ซึ่งได้แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองชนิด ตามรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า (ก)SAIFI, (ข) SAIDI



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN สำหรับคำนวณค่า (ก)SAIFI,
(ข) SAIDI

ค่า SAIFI, SAIDI ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถวัดค่าความแม่นยำของเอาต์พุตที่ได้โดยใช้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) [9] จากข้อมูลชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ ดังแสดงในสมการ

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Output_{actual_i} - Output_{ANN_i}}{Output_{actual_i}} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

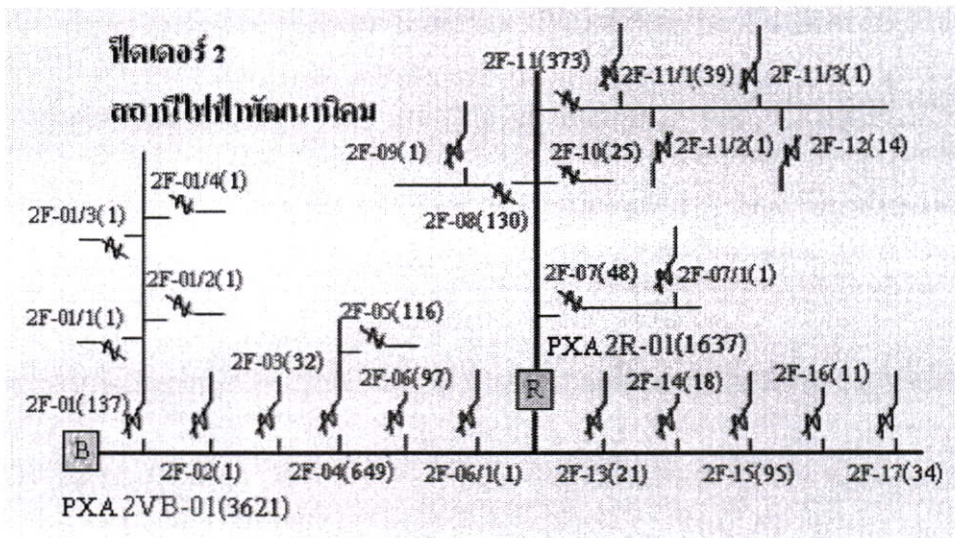
โดย $Output_{ANN}$ คือ ค่าเอาต์พุตที่เป็นคำตอบจากโครงข่ายประสาทเทียม

$Output_{actual}$ คือ ค่าเอาต์พุตที่เป็นคำตอบจริง

N คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนหรือทดสอบ

4.4 การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน

การฝึกสอนและทดสอบจะใช้ข้อมูลจากโปรแกรมบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าขัดข้องฯ (Reliability Program) โดยแยกตามแต่ละอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงาน แล้วคำนวณหาค่า SAIFI, SAIDI โดยยกตัวอย่างข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องเดือนมกราคม 2547- กรกฎาคม 2547 ของฟีดเดอร์ 2 และฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี มีจำนวนข้อมูล 35 และ 31 ชุด ตามลำดับ และข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องช่วงเวลาเดียวกันในระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี มีจำนวนข้อมูล 148 ชุด ในการฝึกสอนและทดสอบ กำหนดค่าอัตราส่วนการฝึกสอนและทดสอบเป็น 70:30



รูปที่ 4.6 ลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม[10]

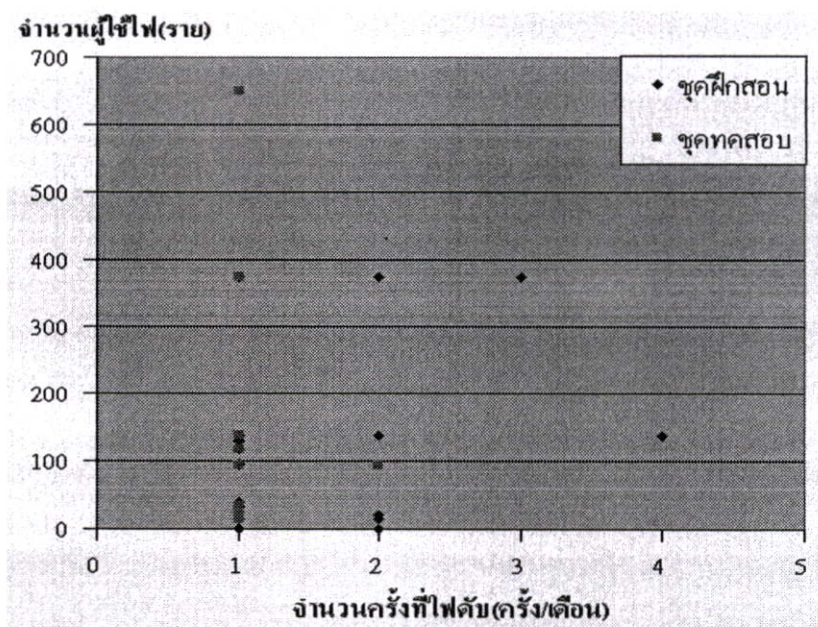
สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี เป็นสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้รหัสย่อว่า PXA จากลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม มีอุปกรณ์ป้องกันซึ่งประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ของฟีดเดอร์ 2 รหัส PXA2VB-01 จำนวน 1 เครื่อง ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม มีจำนวนผู้ใช้ไฟในฟีดเดอร์นี้คือ 3,621 ราย รีโคลสเซอร์จำนวน 1 เครื่อง รหัส PXA2R-01 ติดตั้งในระบบจำหน่าย มีผู้ใช้ไฟหลังรีโคลสเซอร์จำนวน 1,637 ราย และครีออฟเอท์ ฟิวส์ คัทเอท์ จำนวน 25 ชุด ซึ่งทุกอุปกรณ์ป้องกันได้แสดงรหัส(โดยละ PXA ไว้)และจำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน ดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของพีคเตอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIFI

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน				
1	PXA02F-001	137	4	0.033856419
2	PXA02F-008	130	1	0.008031632
3	PXA02F-010	25	1	0.001544545
4	PXA02F-011	373	3	0.069133819
5	PXA02F-012	14	2	0.001729890
6	PXA02F-011	373	1	0.023044606
7	PXA02F-012	14	1	0.000864945
8	PXA02F-001	137	2	0.016928210
9	PXA02F-005	116	1	0.007166687
10	PXA02F-008	130	1	0.008031632
11	PXA02F-011	373	2	0.046089213
12	PXA02F-015	95	1	0.005869270
13	PXA02F-017	34	1	0.002100581
14	PXA02F-001	137	1	0.008464105
15	PXA02F-003	32	1	0.001977017
16	PXA02F-006	97	1	0.005992833
17	PXA02F-006/001	1	1	6.17818E-05
18	PXA02F-007/001	1	2	0.000123564
19	PXA02F-008	130	1	0.008031632
20	PXA02F-010	25	1	0.001544545
21	PXA02F-011	373	1	0.023044606
22	PXA02F-011/001	40	1	0.002471271
23	PXA02F-013	21	2	0.002594835
24	PXA02F-001	137	1	0.008464105

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดทดสอบ				
25	PXA02F-004	649	1	0.040096380
26	PXA02F-011	373	1	0.023044606
27	PXA02F-012	14	1	0.000864945
28	PXA02F-013	21	1	0.001297418
29	PXA02F-015	95	2	0.011738539
30	PXA02F-017	34	1	0.002100581
31	PXA02F-001	137	1	0.008464105
32	PXA02F-015	95	1	0.005869270
33	PXA02F-004	649	1	0.040096380
34	PXA02F-005	116	1	0.007166687
35	PXA02F-012	14	1	0.000864945



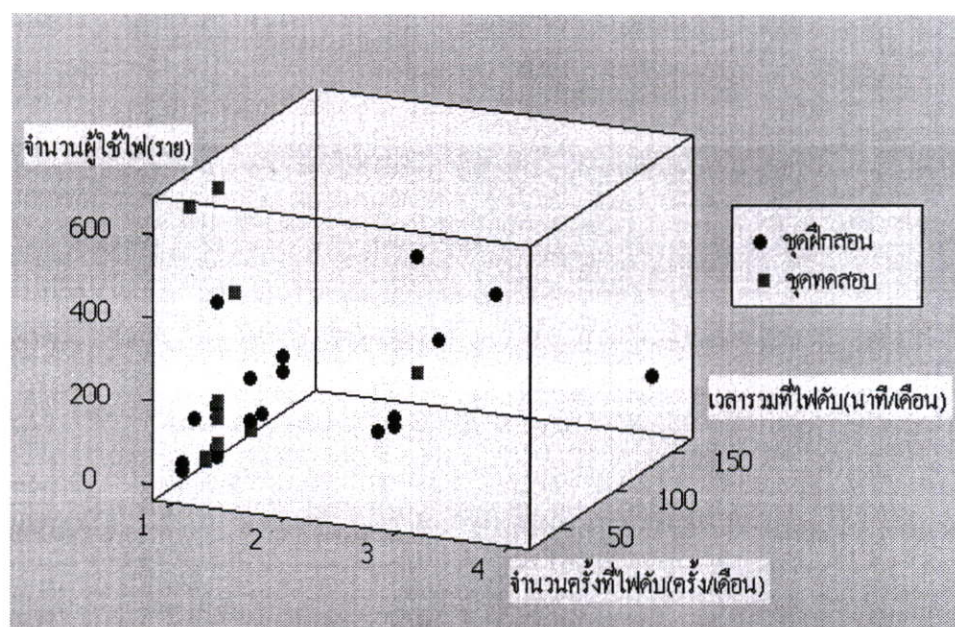
รูปที่ 4.7 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของพีคเตอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม เพื่อคำนวณค่า SAIFI

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIDI

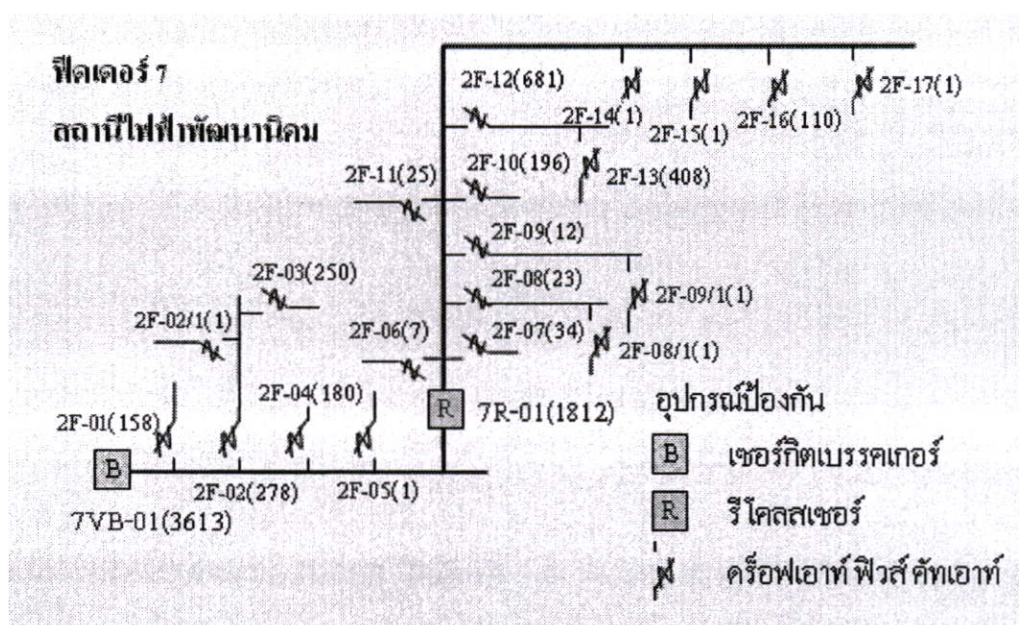
อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาทิต/เดือน)	SAIDI (นาทิต/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน					
1	PXA02F-001	137	4	150	1.269615717
2	PXA02F-008	130	1	40	0.321265291
3	PXA02F-010	25	1	30	0.046336340
4	PXA02F-011	373	3	110	2.534906710
5	PXA02F-012	14	2	105	0.090819226
6	PXA02F-011	373	1	60	1.382676387
7	PXA02F-012	14	1	60	0.051896701
8	PXA02F-001	137	2	160	1.354256765
9	PXA02F-005	116	1	60	0.430001236
10	PXA02F-008	130	1	60	0.481897936
11	PXA02F-011	373	2	140	3.226244903
12	PXA02F-015	95	1	60	0.352156184
13	PXA02F-017	34	1	90	0.189052267
14	PXA02F-001	137	1	120	1.015692574
15	PXA02F-003	32	1	101	0.199678735
16	PXA02F-006	97	1	120	0.719139998
17	PXA02F-006/001	1	1	60	0.003706907
18	PXA02F-007/001	1	2	120	0.007413814
19	PXA02F-008	130	1	60	0.481897936
20	PXA02F-010	25	1	60	0.092672680
21	PXA02F-011	373	1	60	1.382676387
22	PXA02F-011/001	40	1	30	0.074138144
23	PXA02F-013	21	2	120	0.155690103
24	PXA02F-001	137	1	90	0.761769430

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาที/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)
ชุดทดสอบ					
25	PXA02F-004	649	1	60	2.405782775
26	PXA02F-011	373	1	75	1.728345484
27	PXA02F-012	14	1	90	0.077845051
28	PXA02F-013	21	1	50	0.064870876
29	PXA02F-015	95	2	140	0.821697763
30	PXA02F-017	34	1	60	0.126034845
31	PXA02F-001	137	1	60	0.507846287
32	PXA02F-015	95	1	60	0.352156184
33	PXA02F-004	649	1	35	1.403373286
34	PXA02F-005	116	1	60	0.430001236
35	PXA02F-012	14	1	50	0.043247251



รูปที่ 4.8 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของพีคเตอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม เพื่อคำนวณค่า SAIDI



รูปที่ 4.9 ลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม[10]

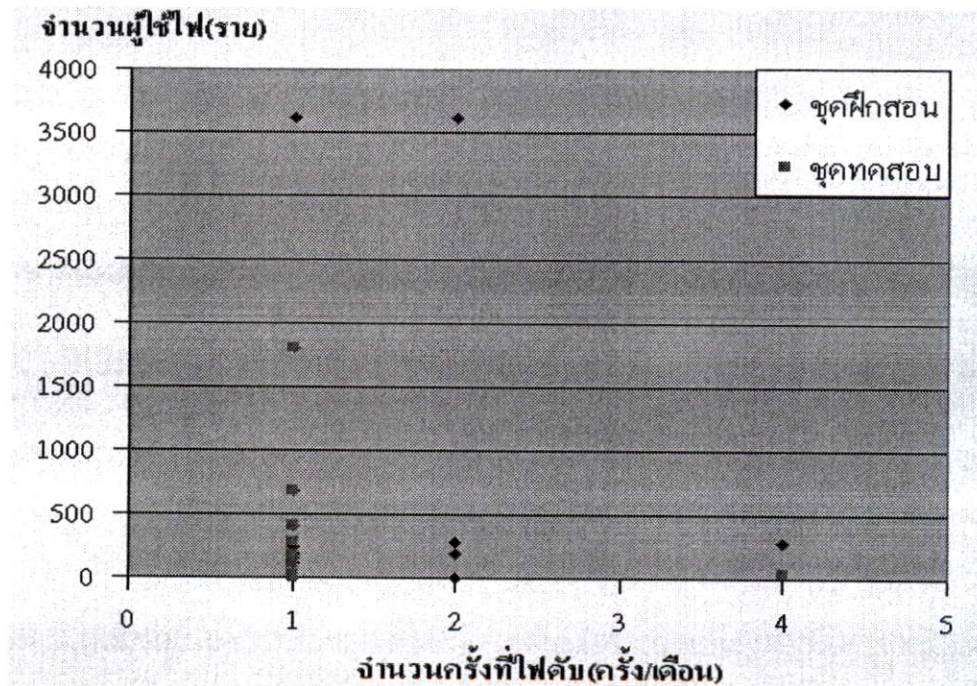
จากลักษณะการจ่ายไฟของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม มีอุปกรณ์ป้องกันซึ่งประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ของฟีดเดอร์ 7 รหัส PXA7VB-01 จำนวน 1 เครื่อง ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม มีจำนวนผู้ใช้ไฟในฟีดเดอร์นี้คือ 3,613 ราย รีโคลสเซอร์จำนวน 1 เครื่อง รหัส PXA7R-01 ติดตั้งในระบบจำหน่าย มีผู้ใช้ไฟหลังรีโคลสเซอร์จำนวน 1,812 ราย และครีออฟเอาท์ ฟิวส์ คัทเอาท์ จำนวน 20 ชุด ซึ่งทุกอุปกรณ์ป้องกันได้แสดงรหัส(โดยละ PXA ไว้)และจำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของพีคเตอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIFI

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน				
1	PXA07VB-01	3,613	1	0.223217595
2	PXA07F-003	250	1	0.015445447
3	PXA07F-004	180	1	0.011120722
4	PXA07F-013	408	1	0.025206969
5	PXA07F-001	158	1	0.009761522
6	PXA07F-002	278	4	0.068701347
7	PXA07F-003	250	1	0.015445447
8	PXA07VB-01	3,613	2	0.446435191
9	PXA07R-01	1,812	1	0.111948598
10	PXA07F-001	158	1	0.009761522
11	PXA07F-002	278	2	0.034350673
12	PXA07F-010	196	1	0.012109230
13	PXA07F-012	681	1	0.042073397
14	PXA07F-015	1	2	0.000123564
15	PXA07VB-01	3,613	2	0.446435191
16	PXA07F-012	681	1	0.042073397
17	PXA07F-014	1	1	6.17818E-05
18	PXA07F-016	110	1	0.006795997
19	PXA07VB-01	3,613	1	0.223217595
20	PXA07F-002	278	2	0.034350673
21	PXA07F-010	196	2	0.024218460

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดทดสอบ				
22	PXA07F-007	34	4	0.008402323
23	PXA07F-012	681	1	0.042073397
24	PXA07F-016	110	1	0.006795997
25	PXA07R-01	1,812	1	0.111948598
26	PXA07F-001	158	1	0.009761522
27	PXA07F-002	278	1	0.017175337
28	PXA07F-004	180	1	0.011120722
29	PXA07F-008	23	1	0.001420981
30	PXA07F-013	408	1	0.025206969
31	PXA07F-015	1	1	6.17818E-05



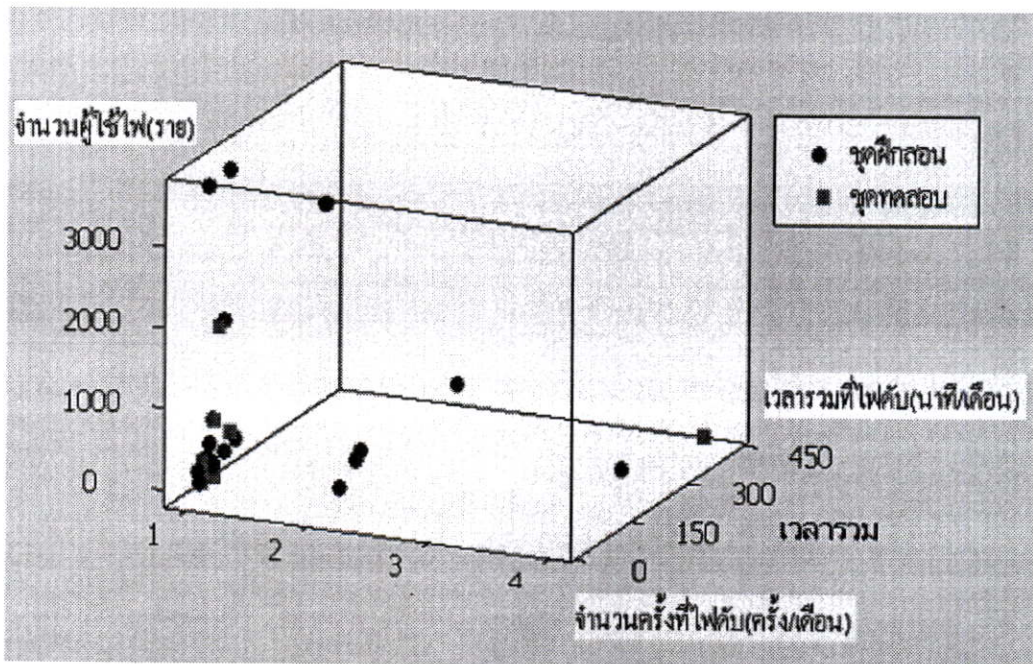
รูปที่ 4.10 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม
เพื่อกำหนดค่า SAIFI

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลไฟฟ้าจัดซื้อของฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานครม ที่ใช้ในการฝึกสอน และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIDI

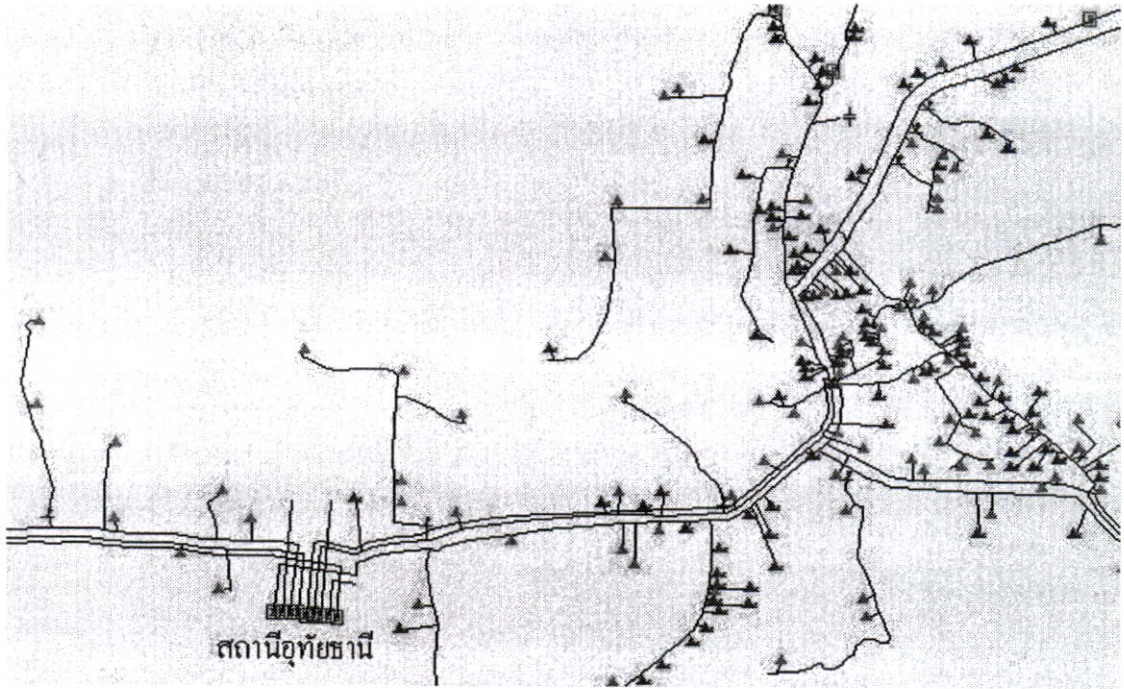
อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาทิต/เดือน)	SAIDI (นาทิต/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน					
1	PXA07VB-01	3,613	1	44	9.8215742
2	PXA07F-003	250	1	120	1.853453602
3	PXA07F-004	180	1	30	0.333621648
4	PXA07F-013	408	1	50	1.260348449
5	PXA07F-001	158	1	20	0.195230446
6	PXA07F-002	278	4	180	3.091560608
7	PXA07F-003	250	1	40	0.617817867
8	PXA07VB-01	3,613	2	33	7.366180650
9	PXA07R-01	1,812	1	89	9.963425182
10	PXA07F-001	158	1	60	0.585691338
11	PXA07F-002	278	2	390	6.698381317
12	PXA07F-010	196	1	90	1.089830718
13	PXA07F-012	681	1	60	2.524403806
14	PXA07F-015	1	2	75	0.004633634
15	PXA07VB-01	3,613	2	35	7.812615841
16	PXA07F-012	681	1	60	2.524403806
17	PXA07F-014	1	1	25	0.001544545
18	PXA07F-016	110	1	60	0.407759792
19	PXA07VB-01	3,613	1	103	22.99141233
20	PXA07F-002	278	2	130	2.232793772
21	PXA07F-010	196	2	120	1.453107624

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาทิต/เดือน)	SAIDI (นาทิต/ราย/เดือน)
ชุดทดสอบ					
22	PXA07F-007	34	4	395	0.829729396
23	PXA07F-012	681	1	60	2.524403806
24	PXA07F-016	110	1	30	0.203879896
25	PXA07R-01	1,812	1	70	7.836401829
26	PXA07F-001	158	1	30	0.292845669
27	PXA07F-002	278	1	30	0.515260101
28	PXA07F-004	180	1	30	0.333621648
29	PXA07F-008	23	1	30	0.042629433
30	PXA07F-013	408	1	100	2.520696899
31	PXA07F-015	1	1	60	0.003706907



รูปที่ 4.11 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของพีคเตอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม เพื่อคำนวณค่า SAIDI



รูปที่ 4.12 ลักษณะการจ่ายไฟ ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี[11]

สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี เป็นสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้รหัสย่อว่า UAA จากลักษณะการจ่ายไฟ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี มีฟีดเดอร์ที่จ่ายไฟ 7 ฟีดเดอร์ คือฟีดเดอร์ 1, 3, 4, 5, 6, 9 และ 10 (ข้อมูล ณ เดือนกรกฎาคม 2547) สำหรับฟีดเดอร์ 2, 7, 8 เป็นฟีดเดอร์สำรอง จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี คือ 36,304 ราย ซึ่งลักษณะการจ่ายไฟ ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานีแสดงดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ
 โครงข่ายประสาทดัดเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIFI

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน				
1	UAA05R-03	7,573	2	0.417199207
2	UAA05F-044	35	2	0.001928162
3	UAA05F-016	46	1	0.001267078
4	UAA05F-035	567	1	0.015618114
5	UAA09VB-01	6,493	2	0.357701631
6	UAA04F-003	76	2	0.004186866
7	UAA05F-045	77	1	0.002120978
8	UAA05F-030	163	1	0.004489863
9	UAA05F-017	140	1	0.003856324
10	UAA09F-004	374	1	0.010301895
11	UAA04F-008	60	1	0.001652710
12	UAA05F-032	114	1	0.003140150
13	UAA09F-011/001	1,835	1	0.050545394
14	UAA03F-003	633	1	0.017436095
15	UAA09F-007	88	1	0.002423975
16	UAA09F-001	240	1	0.006610842
17	UAA09R-01	5,562	1	0.153206258
18	UAA05F-024/001	92	1	0.002534156
19	UAA05F-023	152	1	0.004186866
20	UAA06VB-01	3,564	1	0.098171000
21	UAA05F-021	605	1	0.016664830
22	UAA03F-005	58	1	0.001597620
23	UAA09R-01	6,467	3	0.534403922
24	UAA05F-045	77	1	0.002120978
25	UAA05F-025/001	127	1	0.003498237

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน				
26	UAA05F-038	548	1	0.015094755
27	UAA05F-044	35	1	0.000964081
28	UAA05F-037	326	4	0.035918907
29	UAA06F-001	381	1	0.010494711
30	UAA05F-026	431	1	0.011871970
31	UAA05F-015	760	3	0.062802997
32	UAA05F-023	152	1	0.004186866
33	UAA05F-014	551	1	0.015177391
34	UAA05F-035	567	1	0.015618114
35	UAA05F-021	605	1	0.016664830
36	UAA05F-017	140	1	0.003856324
37	UAA09VB-01	7,200	1	0.198325253
38	UAA09F-011/001	3,099	1	0.085362494
39	UAA05F-027	97	1	0.002671882
40	UAA04F-007	206	1	0.005674306
41	UAA09F-002	120	1	0.003305421
42	UAA05F-022/001	33	2	0.001817981
43	UAA05F-038	548	1	0.015094755
44	UAA05F-034	269	1	0.007409652
45	UAA05F-031	19	2	0.001046717
46	UAA09F-013	535	1	0.014736668
47	UAA05R-04	1,305	2	0.071892904
48	UAA09F-012	252	1	0.006941384
49	UAA05F-016	46	1	0.001267078
50	UAA05F-021	605	1	0.016664830

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน				
51	UAA01F-001	294	1	0.008098281
52	UAA05F-028	415	1	0.011431247
53	UAA05F-040	74	1	0.002038343
54	UAA03F-001	107	1	0.002947334
55	UAA05F-048	1,083	2	0.059662847
56	UAA05F-031	19	2	0.001046717
57	UAA06VB-01	3,604	1	0.099272807
58	UAA09F-013	535	2	0.029473336
59	UAA05F-035	567	2	0.031236227
60	UAA05F-041	137	2	0.007547378
61	UAA05F-021	605	1	0.016664830
62	UAA05F-014	551	4	0.060709564
63	UAA09F-007	88	1	0.002423975
64	UAA03F-009	130	1	0.003580873
65	UAA05F-028	415	1	0.011431247
66	UAA05F-045	77	1	0.002120978
67	UAA06F-007	69	1	0.001900617
68	UAA05R-06	2,099	1	0.057817320
69	UAA05VB-01	14,735	1	0.405878140
70	UAA04F-008	60	1	0.001652710
71	UAA05F-037	326	1	0.008979727
72	UAA05F-026	431	2	0.023743940
73	UAA04F-010	200	1	0.005509035
74	UAA05F-015	760	1	0.020934332
75	UAA05R-04	1,305	2	0.071892904

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

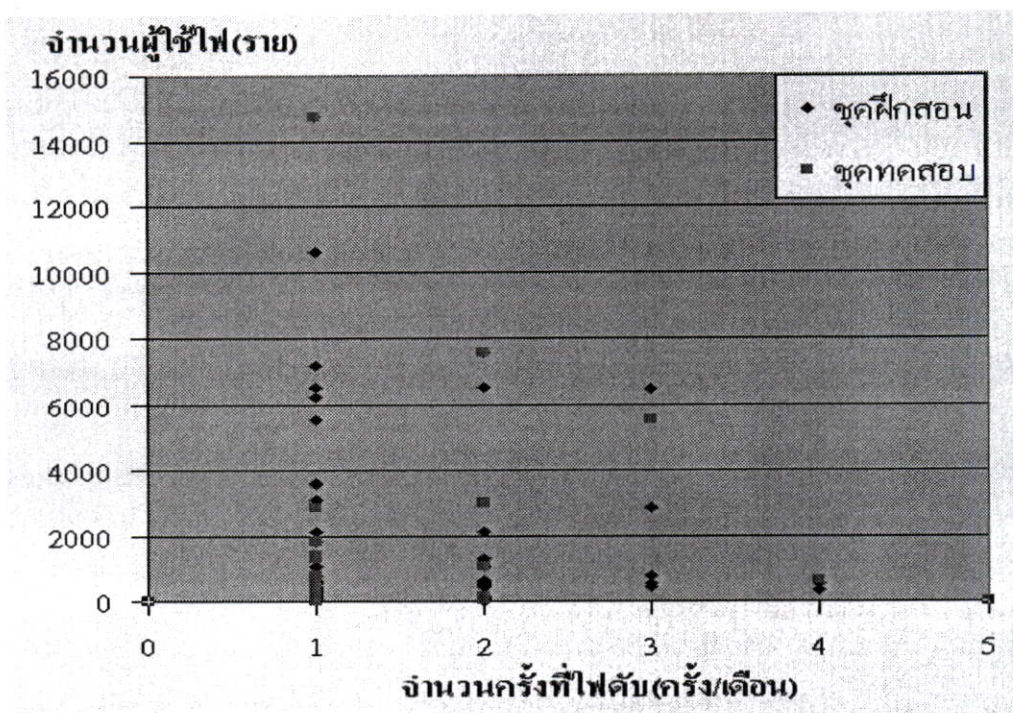
อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน				
76	UAA05F-040	74	1	0.002038343
77	UAA09VB-01	6,493	1	0.178850815
78	UAA05F-028	415	3	0.034293742
79	UAA05F-026	431	2	0.023743940
80	UAA05F-029	68	1	0.001873072
81	UAA05F-021	605	2	0.033329661
82	UAA05F-039	139	1	0.003828779
83	UAA09F-003	380	1	0.010467166
84	UAA05VB-01	14,735	1	0.405878140
85	UAA05F-042	509	3	0.042061481
86	UAA09F-001	240	1	0.006610842
87	UAA05R-06	2,099	2	0.115634641
88	UAA09F-004	374	1	0.010301895
89	UAA05F-038	548	1	0.015094755
90	UAA01VB-01	6,216	1	0.171220802
91	UAA03VB-01	2,820	3	0.233032173
92	UAA05F-035	567	1	0.015618114
93	UAA05F-034	269	1	0.007409652
94	UAA05F-037	326	1	0.008979727
95	UAA05R-02	10,613	1	0.292336933
96	UAA04F-005	515	2	0.028371529
97	UAA05F-015	760	3	0.062802997
98	UAA09R-01	5,562	1	0.153206258
99	UAA09F-019	28	1	0.000771265
100	UAA06F-007	69	1	0.001900617

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน				
101	UAA06F-009	468	2	0.025782283
102	UAA09F-003	380	1	0.010467166
103	UAA05F-048	1,083	1	0.029831424
ชุดทดสอบ				
104	UAA05F-001	2	1	0.000055090
105	UAA04F-002	105	1	0.002892243
106	UAA09F-015	132	2	0.007271926
107	UAA05F-014	551	1	0.015177391
108	UAA05F-036	89	1	0.002451520
109	UAA09F-011/001	1,835	1	0.050545394
110	UAA05F-021	605	4	0.066659321
111	UAA05F-016	46	1	0.001267078
112	UAA09F-010	144	2	0.007933010
113	UAA05F-039	139	1	0.003828779
114	UAA05F-035	567	1	0.015618114
115	UAA04F-003	76	2	0.004186866
116	UAA09F-019	28	1	0.000771265
117	UAA04F-009	400	1	0.011018070
118	UAA05F-026	431	1	0.011871970
119	UAA04F-008	60	1	0.001652710
120	UAA05F-042	509	1	0.014020494
121	UAA09F-004	374	1	0.010301895
122	UAA05F-037	326	1	0.008979727
123	UAA05R-04	1,305	1	0.035946452
124	UAA05R-03	7,573	2	0.417199207
125	UAA05F-022/001	33	2	0.001817981

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต		ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)
ชุดทดสอบ				
126	UAA04F-005	515	1	0.014185765
127	UAA05F-015	760	1	0.020934332
128	UAA05VB-01	14,735	1	0.405878140
129	UAA03F-007	200	1	0.005509035
130	UAA03VB-01	2,820	1	0.077677391
131	UAA03F-001	107	1	0.002947334
132	UAA09F-013	535	1	0.014736668
133	UAA05F-028	415	1	0.011431247
134	UAA05F-014	551	1	0.015177391
135	UAA09R-03	1,377	1	0.037929705
136	UAA03F-006	10	1	0.000275452
137	UAA05F-028	415	1	0.011431247
138	UAA05F-042	509	1	0.014020494
139	UAA09R-03	1,377	1	0.037929705
140	UAA05F-037	326	1	0.008979727
141	UAA05F-024	64	1	0.001762891
142	UAA05R-05	2,997	2	0.165105773
143	UAA09R-01	5,562	3	0.459618775
144	UAA04F-005	515	1	0.014185765
145	UAA05F-048	1,083	2	0.059662847
146	UAA06F-001	381	1	0.010494711
147	UAA09F-007	88	1	0.002423975
148	UAA09F-013	535	1	0.014736668



รูปที่ 4.13 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี
เพื่อคำนวณค่า SAIFI

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ

โครงข่ายประสาทดัดเทียมเพื่อคำนวณค่า SAIDI

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาที/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน					
1	UAA05R-03	7,573	2	28	5.840788894
2	UAA05F-044	35	2	50	0.048204055
3	UAA05F-016	46	1	30	0.038012340
4	UAA05F-035	567	1	40	0.624724548
5	UAA09VB-01	6,493	2	55	9.836794844
6	UAA04F-003	76	2	120	0.251211988
7	UAA05F-045	77	1	40	0.084839136
8	UAA05F-030	163	1	30	0.134695901
9	UAA05F-017	140	1	25	0.096408109
10	UAA09F-004	374	1	120	1.236227413
11	UAA04F-008	60	1	60	0.099162627
12	UAA05F-032	114	1	30	0.094204495
13	UAA09F-011/001	1,835	1	50	2.527269722
14	UAA03F-003	633	1	60	1.046165712
15	UAA09F-007	88	1	145	0.351476421
16	UAA09F-001	240	1	35	0.231379462
17	UAA09R-01	5,562	1	42	6.434662847
18	UAA05F-024/001	92	1	40	0.101366241
19	UAA05F-023	152	1	30	0.125605994
20	UAA06VB-01	3,564	1	16	1.570736007
21	UAA05F-021	605	1	20	0.333296606
22	UAA03F-005	58	1	90	0.143785809
23	UAA09R-01	5,562	3	188	28.802776554
24	UAA05F-045	77	1	30	0.063629352
25	UAA05F-025/001	127	1	30	0.104947113

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาที/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน					
26	UAA05F-038	548	1	90	1.358527986
27	UAA05F-044	35	1	80	0.077126487
28	UAA05F-037	326	4	210	1.885742618
29	UAA06F-001	381	1	45	0.472262010
30	UAA05F-026	431	1	55	0.652958352
31	UAA05F-015	760	3	45	0.942044954
32	UAA05F-023	152	1	25	0.104671662
33	UAA05F-014	551	1	25	0.379434773
34	UAA05F-035	567	1	70	1.093267959
35	UAA05F-021	605	1	100	1.666483032
36	UAA05F-017	140	1	45	0.173534597
37	UAA09VB-01	7,200	1	19	3.768179815
38	UAA09F-011/001	3,099	1	74	6.316824592
39	UAA05F-027	97	1	25	0.066797047
40	UAA04F-007	206	1	60	0.340458352
41	UAA09F-002	120	1	25	0.082635522
42	UAA05F-022/001	33	2	80	0.072719260
43	UAA05F-038	548	1	10	0.150947554
44	UAA05F-034	269	1	10	0.074096518
45	UAA05F-031	19	2	20	0.010467166
46	UAA09F-013	535	1	60	0.884200088
47	UAA05R-04	1,305	2	76	2.731930366
48	UAA09F-012	252	1	50	0.347069193
49	UAA05F-016	46	1	25	0.031676950
50	UAA05F-021	605	1	23	0.383291097

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาที/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน					
51	UAA01F-001	294	1	20	0.161965624
52	UAA05F-028	415	1	10	0.114312472
53	UAA05F-040	74	1	10	0.020383429
54	UAA03F-001	107	1	30	0.088420009
55	UAA05F-048	1,083	2	85	2.535671000
56	UAA05F-031	19	2	100	0.052335831
57	UAA06VB-01	3,604	1	23	2.283274570
58	UAA09F-013	535	2	220	3.242066990
59	UAA05F-035	567	2	90	1.405630234
60	UAA05F-041	137	2	80	0.301895108
61	UAA05F-021	605	1	30	0.499944910
62	UAA05F-014	551	4	190	2.883704275
63	UAA09F-007	88	1	40	0.096959013
64	UAA03F-009	130	1	40	0.143234905
65	UAA05F-028	415	1	40	0.457249890
66	UAA05F-045	77	1	30	0.063629352
67	UAA06F-007	69	1	45	0.085527766
68	UAA05R-06	2,099	1	34	1.965788894
69	UAA05VB-01	14,735	1	17	6.899928383
70	UAA04F-008	60	1	60	0.099162627
71	UAA05F-037	326	1	60	0.538783605
72	UAA05F-026	431	2	225	2.671193257
73	UAA04F-010	200	1	70	0.385632437
74	UAA05F-015	760	1	155	3.244821507
75	UAA05R-04	1,305	2	75	2.695983914

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

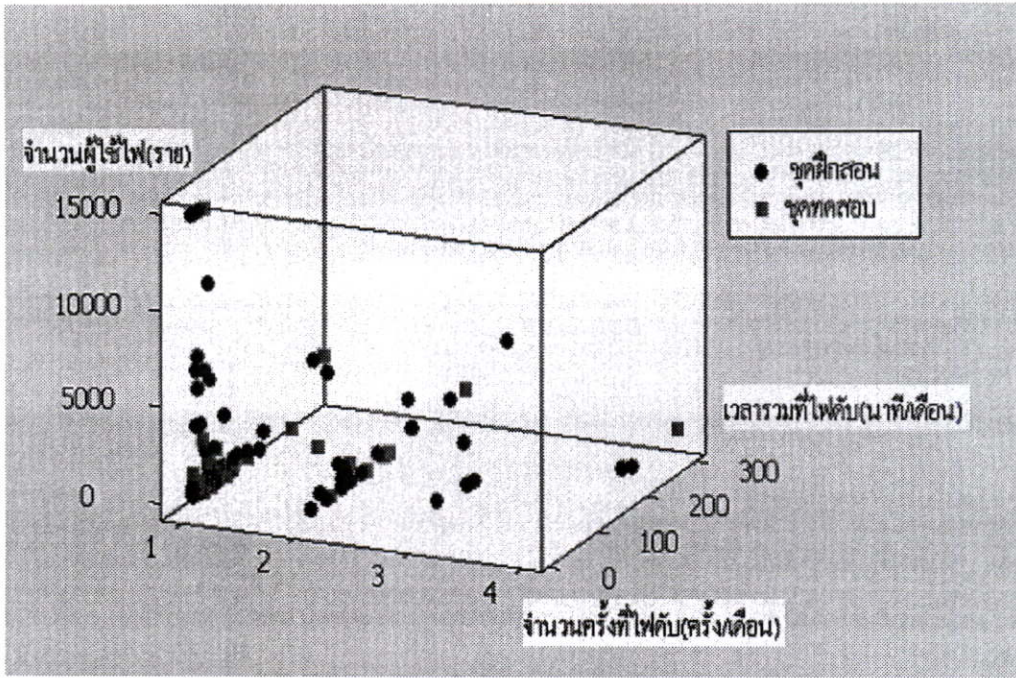
อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาที/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน					
76	UAA05F-040	74	1	60	0.122300573
77	UAA09VB-01	6,493	1	14	2.503911415
78	UAA05F-028	415	3	120	1.371749669
79	UAA05F-026	431	2	155	1.840155355
80	UAA05F-029	68	1	30	0.056192155
81	UAA05F-021	605	2	300	4.999449097
82	UAA05F-039	139	1	50	0.191438960
83	UAA09F-003	380	1	50	0.523358308
84	UAA05VB-01	14,735	1	7	2.841146981
85	UAA05F-042	509	3	105	1.472151829
86	UAA09F-001	240	1	20	0.132216836
87	UAA05R-06	2,099	2	215	12.430723887
88	UAA09F-004	374	1	60	0.618113706
89	UAA05F-038	548	1	70	1.056632878
90	UAA01VB-01	6,216	1	33	5.650286470
91	UAA03VB-01	2,820	3	99	7.690061701
92	UAA05F-035	567	1	45	0.702815117
93	UAA05F-034	269	1	70	0.518675628
94	UAA05F-037	326	1	60	0.538783605
95	UAA05R-02	10,613	1	39	11.401140370
96	UAA04F-005	515	2	40	0.567430586
97	UAA05F-015	760	3	45	0.942044954
98	UAA09R-01	5,562	1	17	2.604506390
99	UAA09F-019	28	1	40	0.030850595
100	UAA06F-007	69	1	45	0.085527766

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาที/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)
ชุดฝึกสอน					
101	UAA06F-009	468	2	80	1.031291318
102	UAA09F-003	380	1	30	0.314014985
103	UAA05F-048	1,083	1	40	1.193256941
ชุดทดสอบ					
104	UAA05F-001	2	1	210	0.011568973
105	UAA04F-002	105	1	30	0.086767298
106	UAA09F-015	132	2	175	0.636293521
107	UAA05F-014	551	1	60	0.910643455
108	UAA05F-036	89	1	40	0.098060820
109	UAA09F-011/001	1,835	1	53	2.678905906
110	UAA05F-021	605	4	300	4.999449097
111	UAA05F-016	46	1	30	0.038012340
112	UAA09F-010	144	2	165	0.654473336
113	UAA05F-039	139	1	75	0.287158440
114	UAA05F-035	567	1	60	0.937086822
115	UAA04F-003	76	2	56	0.117232261
116	UAA09F-019	28	1	45	0.034706919
117	UAA04F-009	400	1	32	0.352578228
118	UAA05F-026	431	1	70	0.831037902
119	UAA04F-008	60	1	25	0.041317761
120	UAA05F-042	509	1	40	0.560819744
121	UAA09F-004	374	1	20	0.206037902
122	UAA05F-037	326	1	90	0.808175408
123	UAA05R-04	1,305	1	10	0.359464522
124	UAA05R-03	7,573	2	44	9.178382547
125	UAA05F-022/001	33	2	130	0.118168797

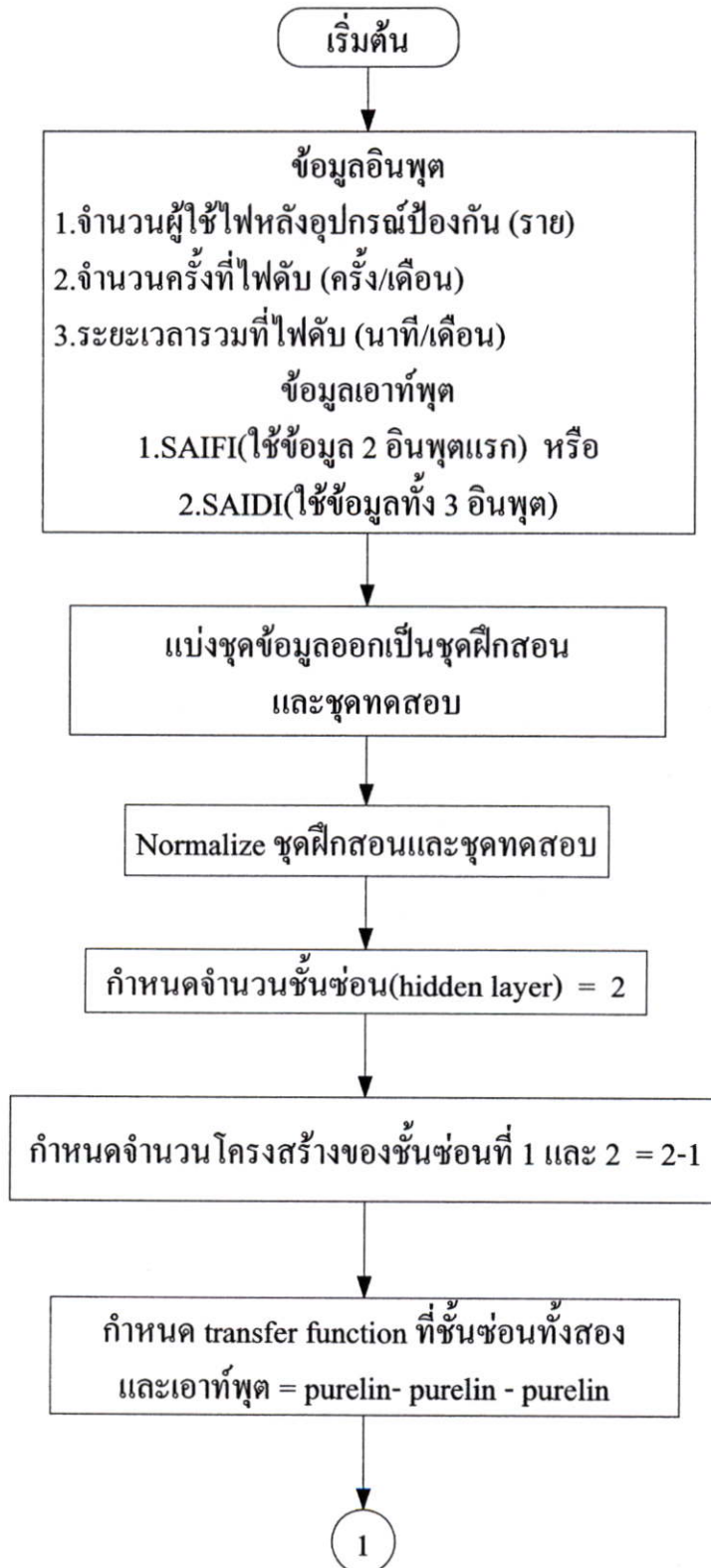
ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

อุปกรณ์ ที่	รหัสอุปกรณ์	ข้อมูลอินพุต			ข้อมูลเอาต์พุต
		จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	จำนวนครั้งที่ไฟดับ (ครั้ง/เดือน)	เวลารวม (นาที/เดือน)	SAIDI (นาที/ราย/เดือน)
ชุดทดสอบ					
126	UAA04F-005	515	1	40	0.567430586
127	UAA05F-015	760	1	20	0.418686646
128	UAA05VB-01	14,735	1	31	12.582222345
129	UAA03F-007	200	1	60	0.330542089
130	UAA03VB-01	2,820	1	26	2.019612164
131	UAA03F-001	107	1	120	0.353680035
132	UAA09F-013	535	1	55	0.810516747
133	UAA05F-028	415	1	30	0.342937417
134	UAA05F-014	551	1	55	0.834756501
135	UAA09R-03	1,377	1	37	1.403399074
136	UAA03F-006	10	1	30	0.008263552
137	UAA05F-028	415	1	30	0.342937417
138	UAA05F-042	509	1	30	0.420614808
139	UAA09R-03	1,377	1	42	1.593047598
140	UAA05F-037	326	1	60	0.538783605
141	UAA05F-024	64	1	75	0.132216836
142	UAA05R-05	2,997	2	33	2.724245262
143	UAA09R-01	5,562	3	102	15.627038343
144	UAA04F-005	515	1	60	0.851145879
145	UAA05F-048	1,083	2	95	2.833985236
146	UAA06F-001	381	1	40	0.419788453
147	UAA09F-007	88	1	45	0.109078889
148	UAA09F-013	535	1	65	0.957883429

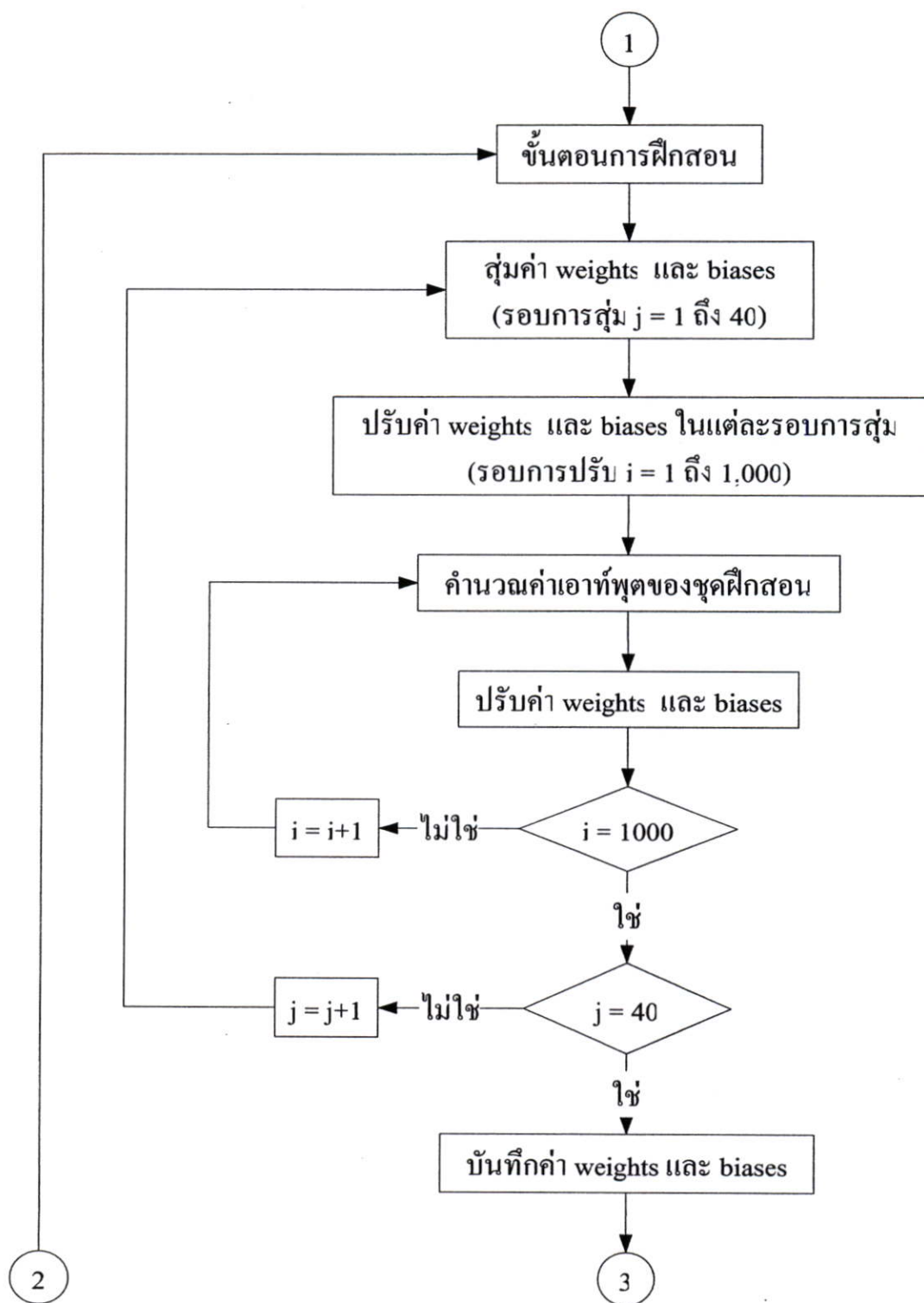


รูปที่ 4.14 แสดงข้อมูลอินพุตที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี
เพื่อคำนวณค่า SAIDI

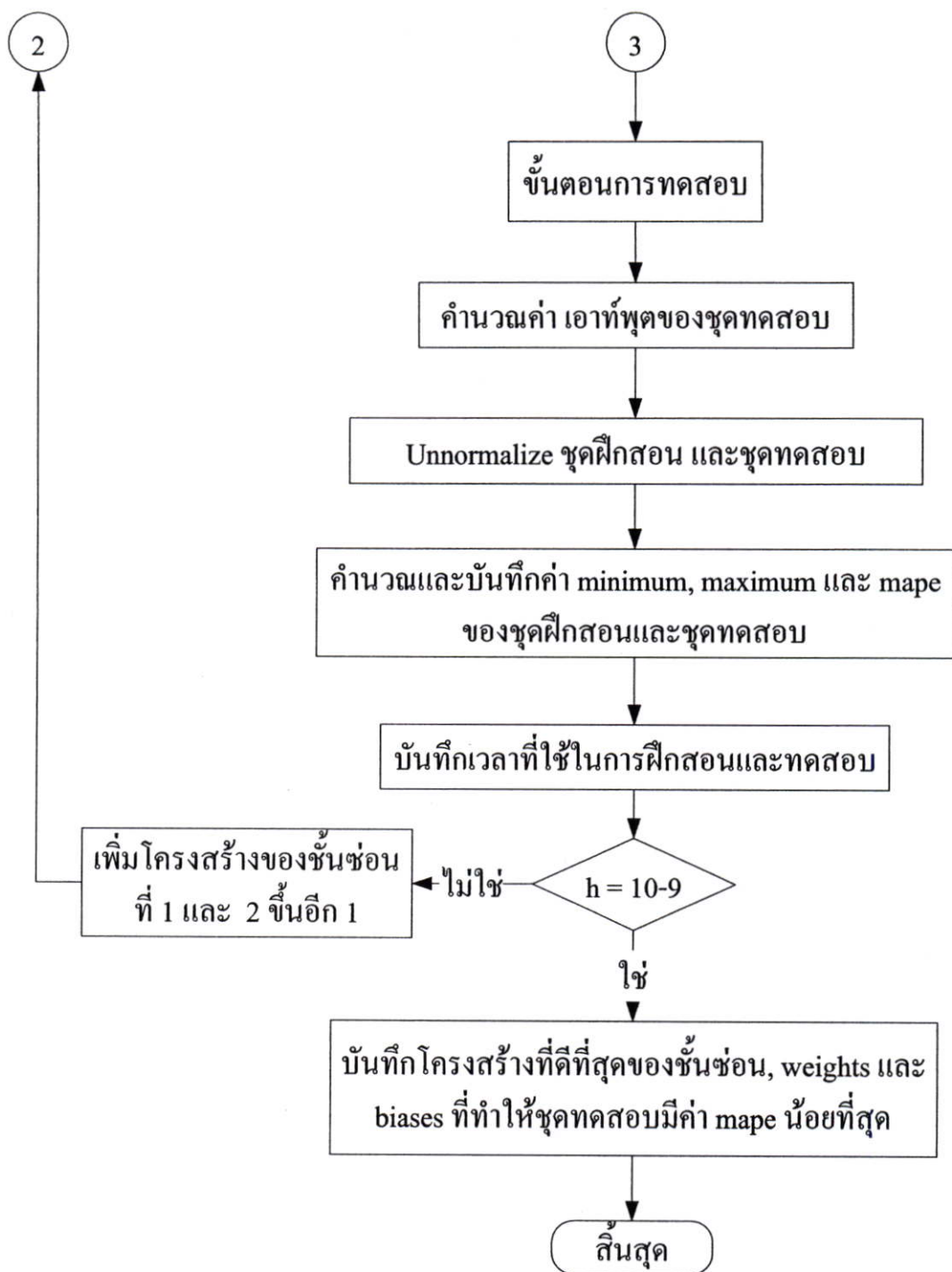
4.5 ขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP



รูปที่ 4.15 แสดงขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI

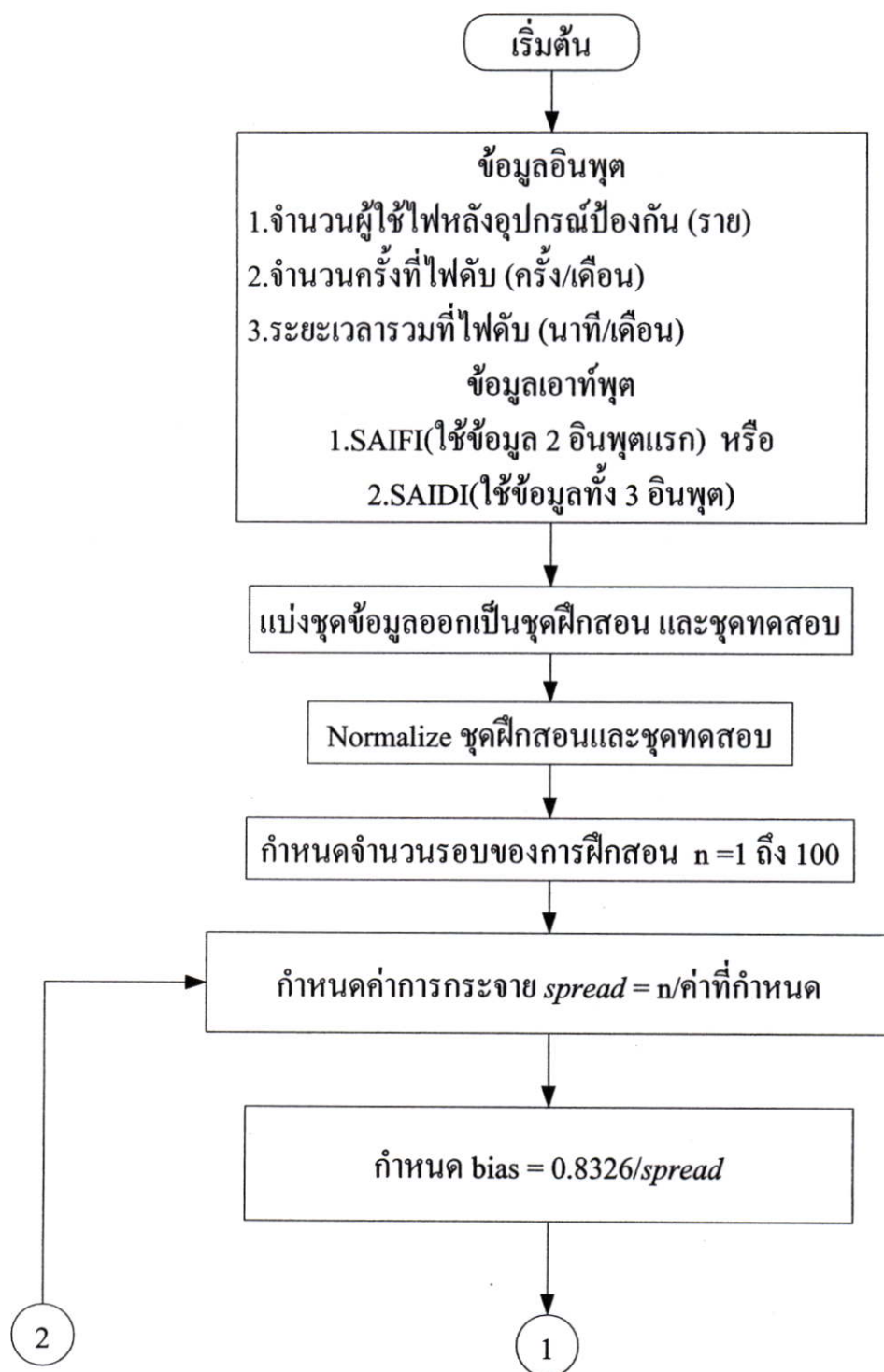


รูปที่ 4.15 (ต่อ)

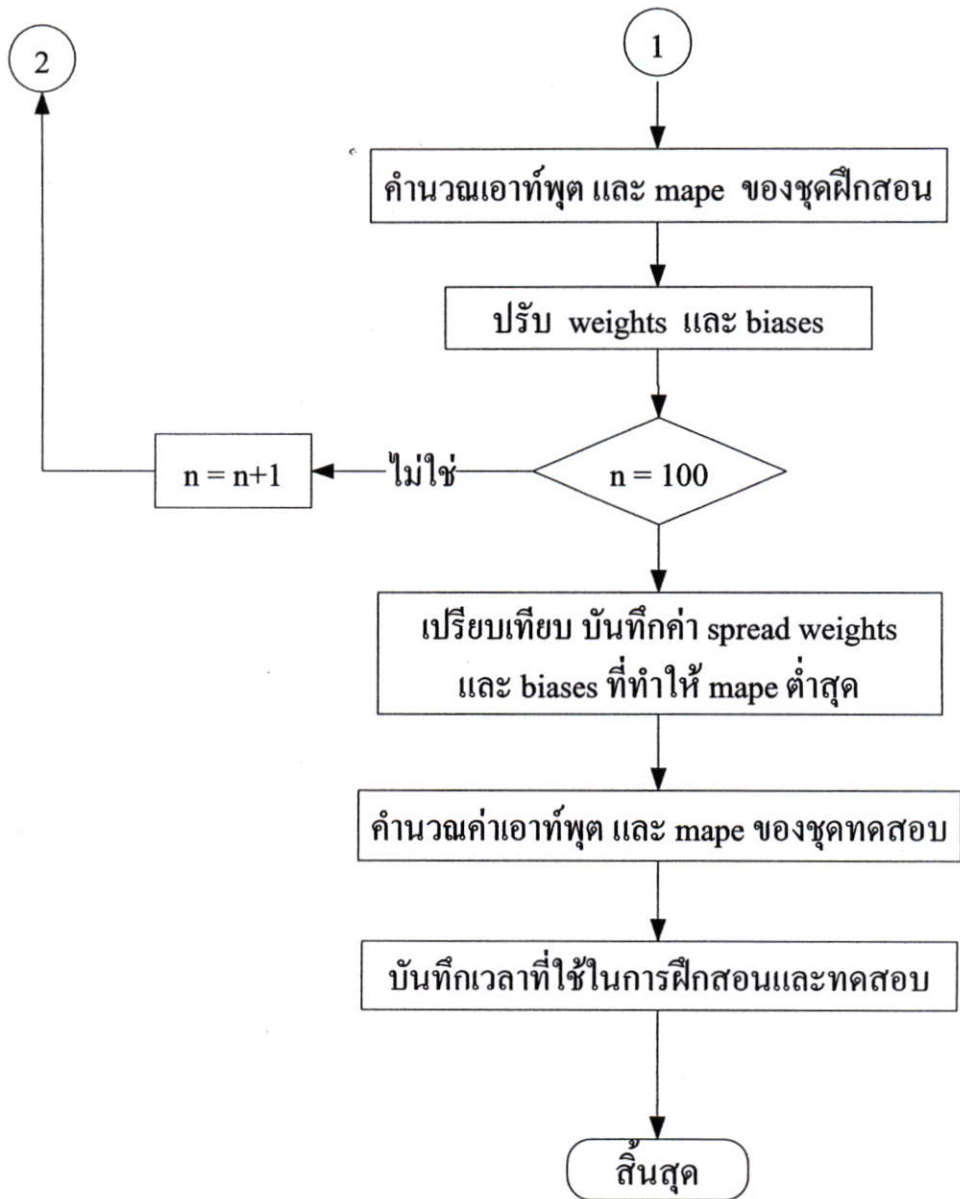


รูปที่ 4.15 (ต่อ)

4.6 ขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN

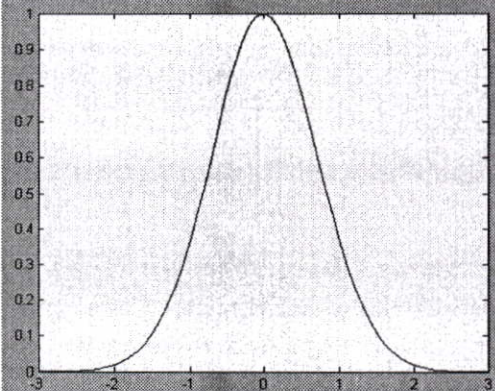
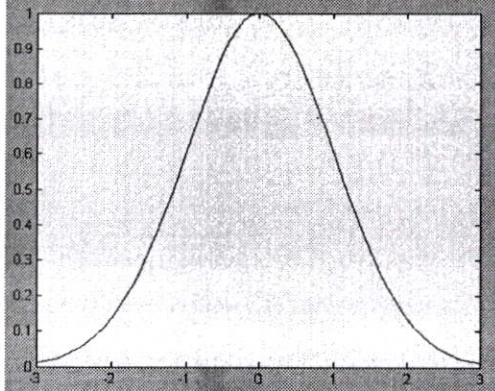
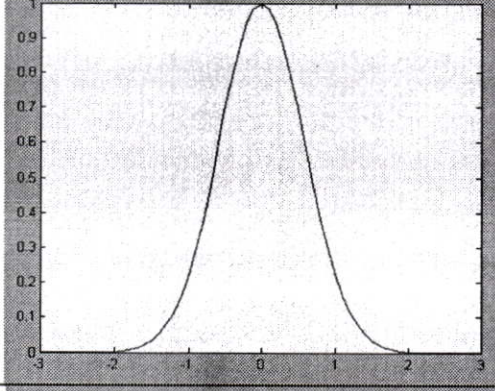
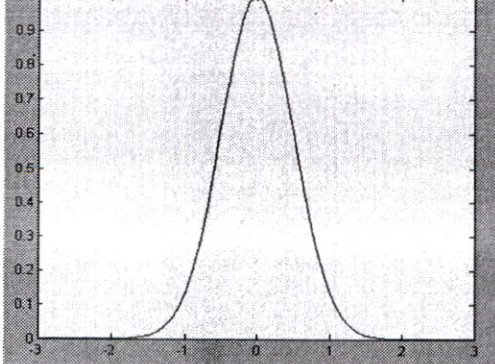


รูปที่ 4.16 แสดงขั้นตอนการฝึกสอนและทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI

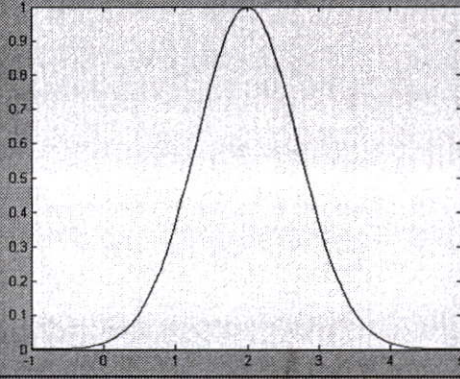
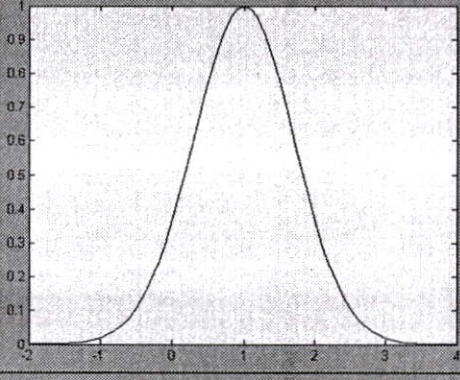
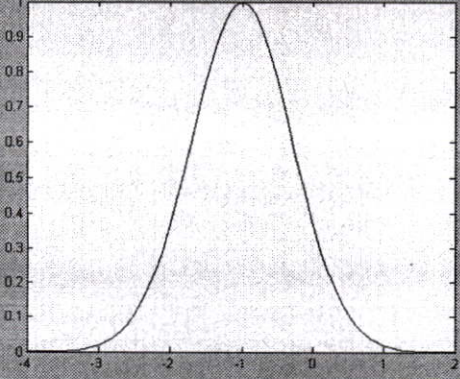
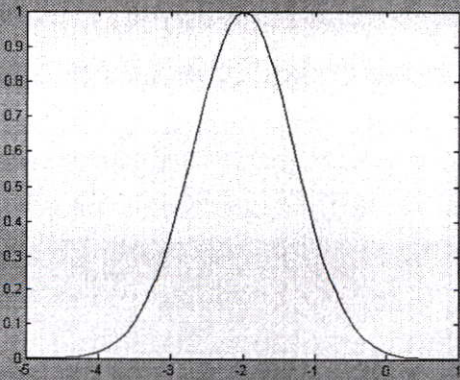


รูปที่ 4.16 (ต่อ)

ตารางที่ 4.9 แสดงสมการ Radial Basis Function สำหรับการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression

กราฟ Radial Basis Function	สมการ Radial Basis Function
	$a(n) = e^{-n^2}$
	$a(n) = e^{-0.5n^2}$
	$a(n) = e^{-1.5n^2}$
	$a(n) = e^{-2n^2}$

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

กราฟ Radial Basis Function	สมการ Radial Basis Function
	$a(n) = e^{-(n^2-4n+4)}$
	$a(n) = e^{-(n^2-2n+1)}$
	$a(n) = e^{-(n^2+2n+1)}$
	$a(n) = e^{-(n^2+4n+4)}$

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบได้จากบทที่ 4 ซึ่งเป็นข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี จำนวน 35 ชุด , ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี จำนวน 31 ชุด และข้อมูลจากสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี จำนวน 148 ชุด จากนั้นทำการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation[12] และโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression โดยใช้คอมพิวเตอร์ PC, Pentium 4, 2.4 GHz มีหน่วยความจำ 256 MB ทำการทดสอบและมีผลการทดลองดังนี้

5.1 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation เพื่อคำนวณค่า SAIFI (ครั้ง/ราย/เดือน)ในระบบจำหน่ายแรงสูงฟีดเดอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี โดยกำหนดจำนวนอินพุตเป็น 2 อินพุต คือจำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน(ราย)และจำนวนครั้งที่ไฟดับ(ครั้ง/เดือน) ข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี จำนวน 35 ชุด , ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี จำนวน 31 ชุด กำหนด Hidden Layer เท่ากับ 2 ชั้น, จำนวนครั้งการสุ่มค่า weights และ biases เท่ากับ 40 ครั้ง, จำนวนรอบการปรับค่า weights และ biases ในการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 1000 รอบ จากนั้นทำการปรับ Transfer Function ของ Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ซึ่งสรุปดังนี้

5.1.1 การฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 0.0022% ใช้ Transfer Functions : purelin - tansig - purelin ใน Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ตามลำดับ จำนวนนิวรอนที่ดีที่สุดของ Hidden Layer ที่ 1 และ 2 คือ 7-6 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 6.8054 นาที ซึ่งได้แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม และแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียบกับค่าจริงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

5.1.2 การฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ $4.0338 \times 10^{-1} \%$ ใช้ Transfer Functions : purelin - tansig - purelin ใน Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ตามลำดับ จำนวนนิวรอนที่ดีที่สุดของ Hidden Layer ที่ 1 และ 2 คือ 6-5 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 5.4508 นาที ซึ่งได้แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม และแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียบกับค่าจริงดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

5.2 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation เพื่อคำนวณค่า SAIDI(นาทึ/ราย/เดือน)ในระบบจำหน่ายแรงสูงฟีดเดอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี โดยกำหนดจำนวนอินพุตเป็น 3 อินพุต คือจำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน(ราย), จำนวนครั้งที่ไฟดับ(ครั้ง/เดือน) และ ระยะเวลาที่ไฟดับ(นาทึ/เดือน) กำหนด Hidden Layer เท่ากับ 2 ชั้น, จำนวนครั้งการสุ่มค่า weights และ biases เท่ากับ 40 ครั้ง, จำนวนรอบการปรับค่า weights และ biases ในการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 1000 รอบ จากนั้นทำการปรับ Transfer Function ของ Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ซึ่งสรุปดังนี้

5.2.1 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 0.2431% ใช้ Transfer Functions : logsig - purelin - purelin ใน Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ตามลำดับ จำนวนนิวรอนที่ดีที่สุดของ Hidden Layer ที่ 1 และ 2 คือ 3-2 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 3.3143 นาที ซึ่งได้แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม และแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าจริงดังรูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

5.2.2 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 2.7721% ใช้ Transfer Functions : logsig - purelin - purelin ใน Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ตามลำดับ จำนวนนิวรอนที่ดีที่สุดของ Hidden Layer ที่ 1 และ 2 คือ 5-4 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 5.4672 นาที ซึ่งได้แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม และแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าจริงดังรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

5.3 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation เพื่อคำนวณค่า SAIFI(ครั้ง/ราย/เดือน), SAIDI (นาทึ/ราย/เดือน)ในระบบจำหน่ายแรงสูงในระบบจำหน่ายที่ใหญ่ขึ้น โดยใช้ข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี ซึ่งจำนวนข้อมูลทั้งหมด 148 ชุด โดยแบ่งเป็นจำนวนชุดฝึกสอน 103 ชุด และชุดทดสอบ 45 ชุด กำหนดจำนวน Hidden Layer เท่ากับ 2 ชั้น, จำนวนครั้งการสุ่มค่า weights และ biases เท่ากับ 40 ครั้ง, จำนวนรอบการปรับค่า weights และ biases ในการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 1000 รอบ จากนั้นทำการปรับ Transfer Function ของ Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer เพื่อคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ซึ่งสรุปดังนี้

5.3.1 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูงสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 0.0034% ใช้ Transfer Functions : tansig - purelin - purelin ใน Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ตามลำดับ จำนวนนิวรอนที่ดีที่สุดของ Hidden Layer ที่ 1 และ 2 คือ 8-7 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.851 นาที ซึ่งได้

แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม และแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าจริงดังรูปที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ

5.3.2 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 0.0621% ใช้ Transfer Functions : tansig - purelin - purelin ใน Hidden Layer ที่ 1, 2 และ Output Layer ตามลำดับ จำนวนนิวรอนที่ดีที่สุดของ Hidden Layer ที่ 1 และ 2 คือ 8-7 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 10.8075 นาที ซึ่งได้แสดงลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม และแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าจริงดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ

5.4 การปรับจำนวนชุดฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation โดยยกตัวอย่างข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี เพื่อคำนวณค่า SAIFI(ครั้ง/ราย/เดือน), SAIDI (นาที/ราย/เดือน) ซึ่งสรุปดังนี้

5.4.1 ผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนจาก 5% ถึง 95% เพื่อคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูงสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยค่า mape ของชุดทดสอบที่ได้มีค่าต่ำกว่า 1% ที่จำนวนชุดฝึกสอนที่ 20% โดยมีจำนวนชุดฝึกสอน 30 ชุด และชุดทดสอบ 118 ชุด ซึ่งได้แสดงผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 5.13

5.4.2 ผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนจาก 5% ถึง 95% เพื่อคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยค่า mape ของชุดทดสอบที่ได้มีค่าต่ำกว่า 1% ที่จำนวนชุดฝึกสอนที่ 45% โดยมีจำนวนชุดฝึกสอน 67 ชุด และชุดทดสอบ 81 ชุด ซึ่งได้แสดงผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 5.14

5.5 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression เพื่อคำนวณค่า SAIFI(ครั้ง/ราย/เดือน), SAIDI (นาที/ราย/เดือน)ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี จากผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression โดยกำหนด จำนวนรอบการปรับค่า weights และ biases เท่ากับ 100 รอบ จากนั้นทำการปรับค่าการกระจาย(spread) เพื่อคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง และทำการปรับสมการ RBF ให้กราฟมีลักษณะอ้วนขึ้น, ผอมลง โดยการปรับเปลี่ยนสมการ Radial Basis Function จาก $a(n) = e^{-n^2}$ เป็น $a(n) = e^{-0.5n^2}$, $a(n) = e^{-1.5n^2}$, $a(n) = e^{-2n^2}$ ตามลำดับ ซึ่งสรุปดังนี้

5.5.1 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูงสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการมาตรฐาน $a(n) = e^{-n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 60.2287% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.0111 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.203 วินาที

5.5.2 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI โดยทำการปรับสมการเป็น $a(n) = e^{-0.5n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 62.9252% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.0083 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.125 วินาที

5.5.3 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI โดยทำการปรับสมการเป็น $a(n) = e^{-1.5n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 62.4473% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.0143 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.25 วินาที

5.5.4 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI โดยทำการปรับสมการเป็น $a(n) = e^{-2n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 62.9252% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.0167 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.235 วินาที

จากผลการทดลองผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI ตามข้อ 5.5.1 ถึง 5.5.4 จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 60.2287% ซึ่งได้แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียบกับค่าจริงดังรูปที่ 5.15

5.5.5 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการมาตรฐาน $a(n) = e^{-n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 674.8452% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.5 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.109 วินาที

5.5.6 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI โดยทำการปรับสมการเป็น $a(n) = e^{-0.5n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 674.8456% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.3533 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.375 วินาที

5.5.7 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI โดยทำการปรับสมการเป็น $a(n) = e^{-1.5n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 674.8459% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.6133 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.579 วินาที

5.5.8 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI โดยทำการปรับสมการเป็น $a(n) = e^{-2n^2}$ จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 674.8518% ค่า spread ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.71 เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 9.344 วินาที

จากผลการทดลองผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI ตามข้อ 5.5.5 ถึง 5.5.8 จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 674.8452% ซึ่งได้แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียบกับค่าจริงดังรูปที่ 5.16

5.6 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression เพื่อคำนวณค่า SAIFI(ครั้ง/ราย/เดือน), SAIDI (นาทึ/ราย/เดือน)ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี จากผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression โดยทำการปรับสมการ RBF ให้เลื่อนซ้าย, ขวาจากสมการ $a(n) = e^{-n^2}$

เป็น $a(n) = e^{-(n^2+4n+4)}$, $a(n) = e^{-(n^2+2n+1)}$, $a(n) = e^{-(n^2-2n+1)}$, $a(n) = e^{-(n^2-4n+4)}$ ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

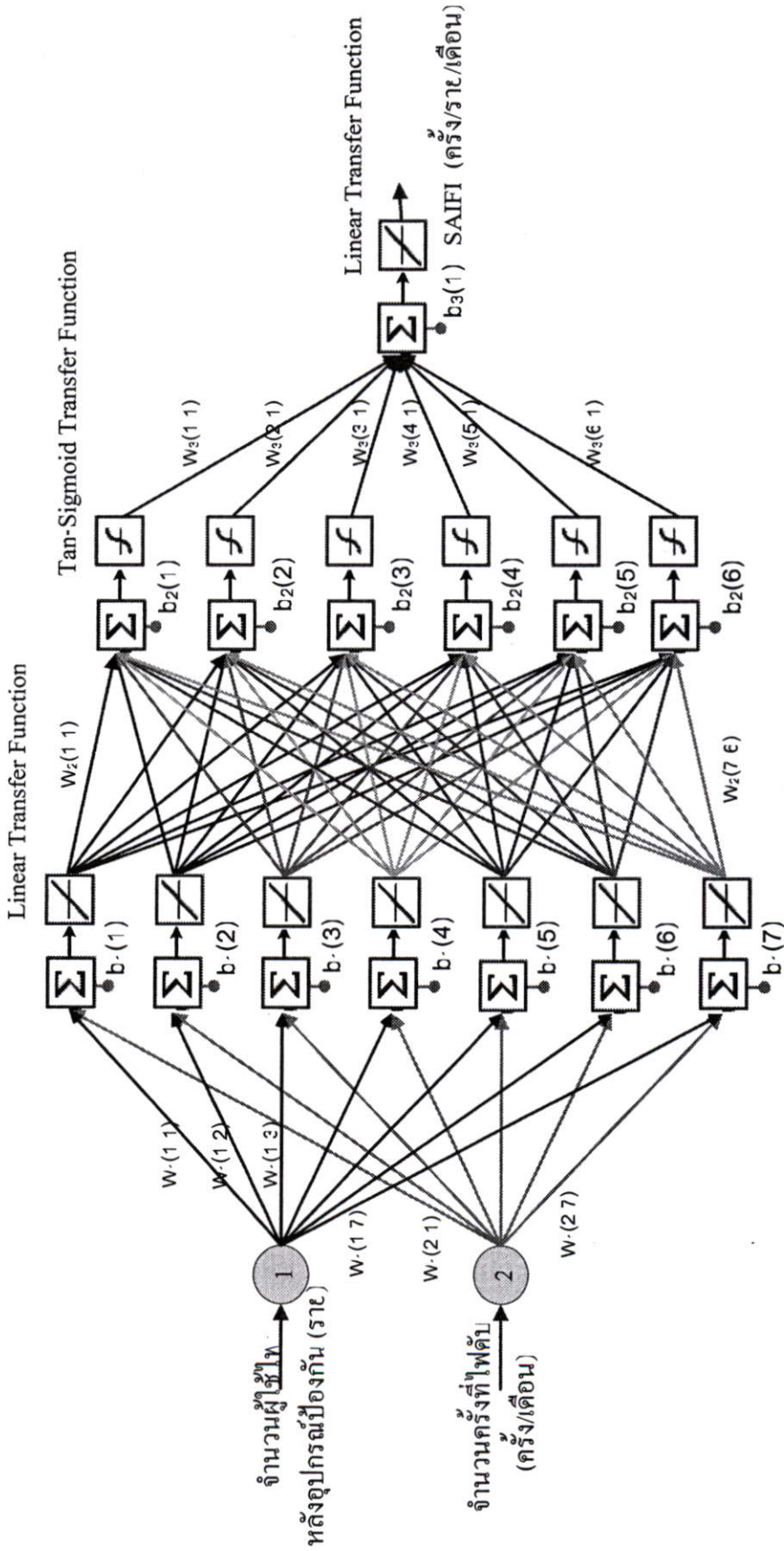
5.6.1 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIFI โดยคงค่า spread ที่ใช้ในการทดสอบจาก 0.0111 ถึง 1.1111 จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 47.2107% ด้วยสมการ $a(n) = e^{-(n^2+2n+1)}$ เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 8.985 วินาที ซึ่งได้แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียบกับค่าจริงดังรูปที่ 5.17

5.6.2 ผลการฝึกสอนและทดสอบเพื่อคำนวณค่า SAIDI โดยคงค่า spread ที่ใช้ในการทดสอบจาก 0.1 ถึง 10 จะได้ค่า mape ของชุดทดสอบที่น้อยที่สุดคือ 630.8881% ด้วยสมการ $a(n) = e^{-(n^2+4n+4)}$ เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนคือ 8.828 วินาที ซึ่งได้แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียบกับค่าจริงดังรูปที่ 5.18

5.1 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พีคเตอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนาคิม

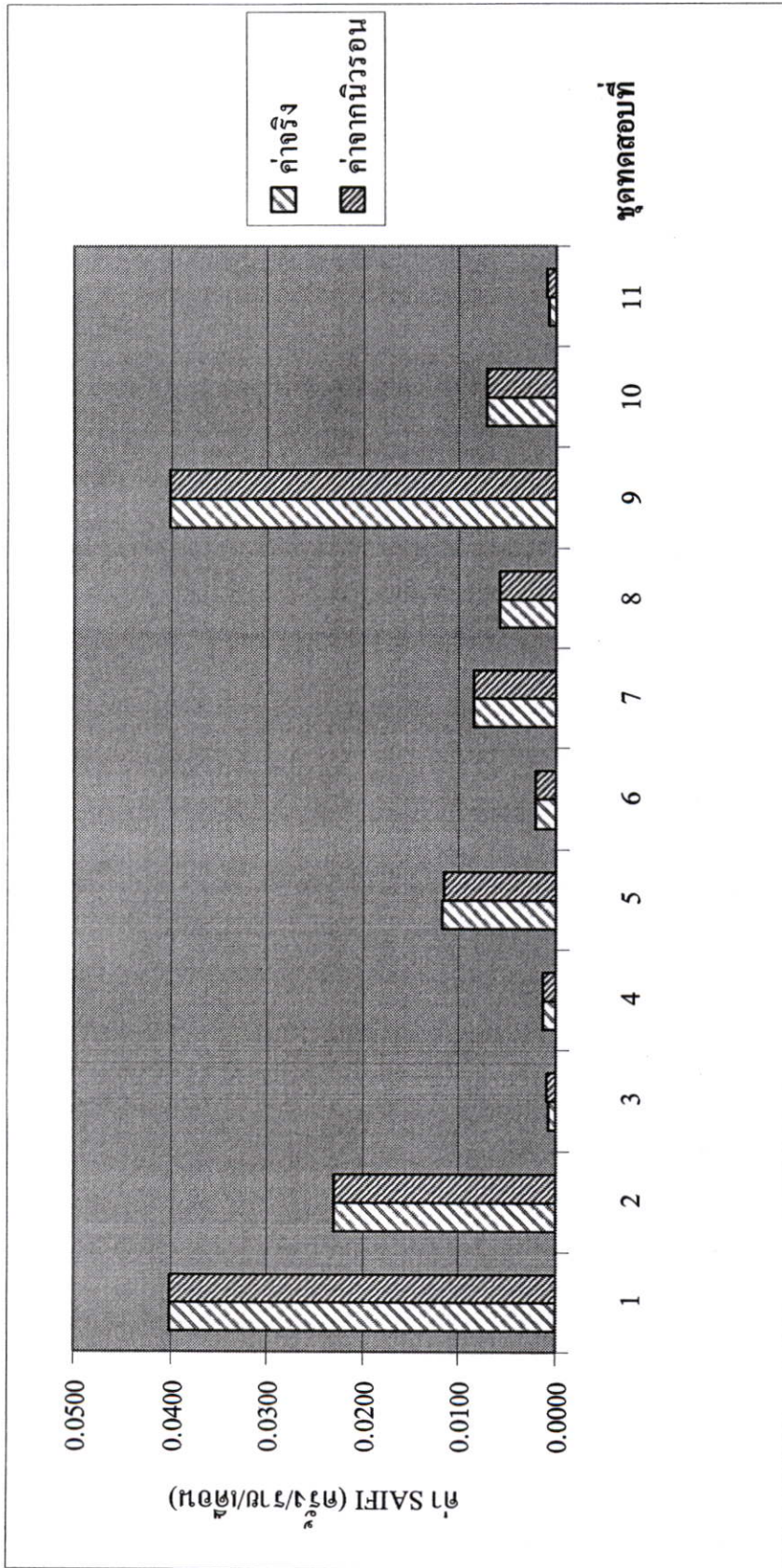
ตารางที่ 5.1 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พีคเตอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนาคิม

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layer ที่ 1	Hidden layer ที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
1	purelin	purelin	purelin	8	7	0.2579	0.9206	286.2067	5.799x10 ³	0.9206	6.878	17.8429
2	purelin	logsig	purelin	7	6	6.6649	8.803x10 ⁻⁸	0.0035	0.0605	3.4417x10 ⁻⁶	0.0029	0.0065
3	purelin	tansig	purelin	7	6	6.8054	1.0646x10 ⁻⁴	0.0026	0.0409	2.2216x10 ⁻⁴	0.0022	0.0116
4	logsig	logsig	purelin	4	3	5.0508	2.5546x10 ⁻⁷	0.0217	0.3877	8.4529x10 ⁻⁷	0.0118	0.0434
5	logsig	tansig	purelin	5	4	5.9447	5.0360x10 ⁻⁸	0.0013	0.0251	1.5565x10 ⁻⁷	0.0042	0.0377
6	logsig	purelin	purelin	2	1	2.9928	7.5346x10 ⁻⁷	0.1025	2.1106	4.6856x10 ⁻⁵	0.0049	0.0423
7	tansig	tansig	purelin	3	2	4.6196	3.1654x10 ⁻⁵	0.0070	0.0620	2.8325x10 ⁻⁴	0.0079	0.0295
8	tansig	logsig	purelin	3	2	4.3591	1.8486x10 ⁻⁶	0.0289	0.4654	1.5565x10 ⁻⁵	0.0180	0.1695
9	tansig	purelin	purelin	7	6	6.0324	3.6201x10 ⁻⁷	0.0014	0.0254	1.4908x10 ⁻⁶	0.0036	0.0268



รูปที่ 5.1 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูงพีดีเคอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม

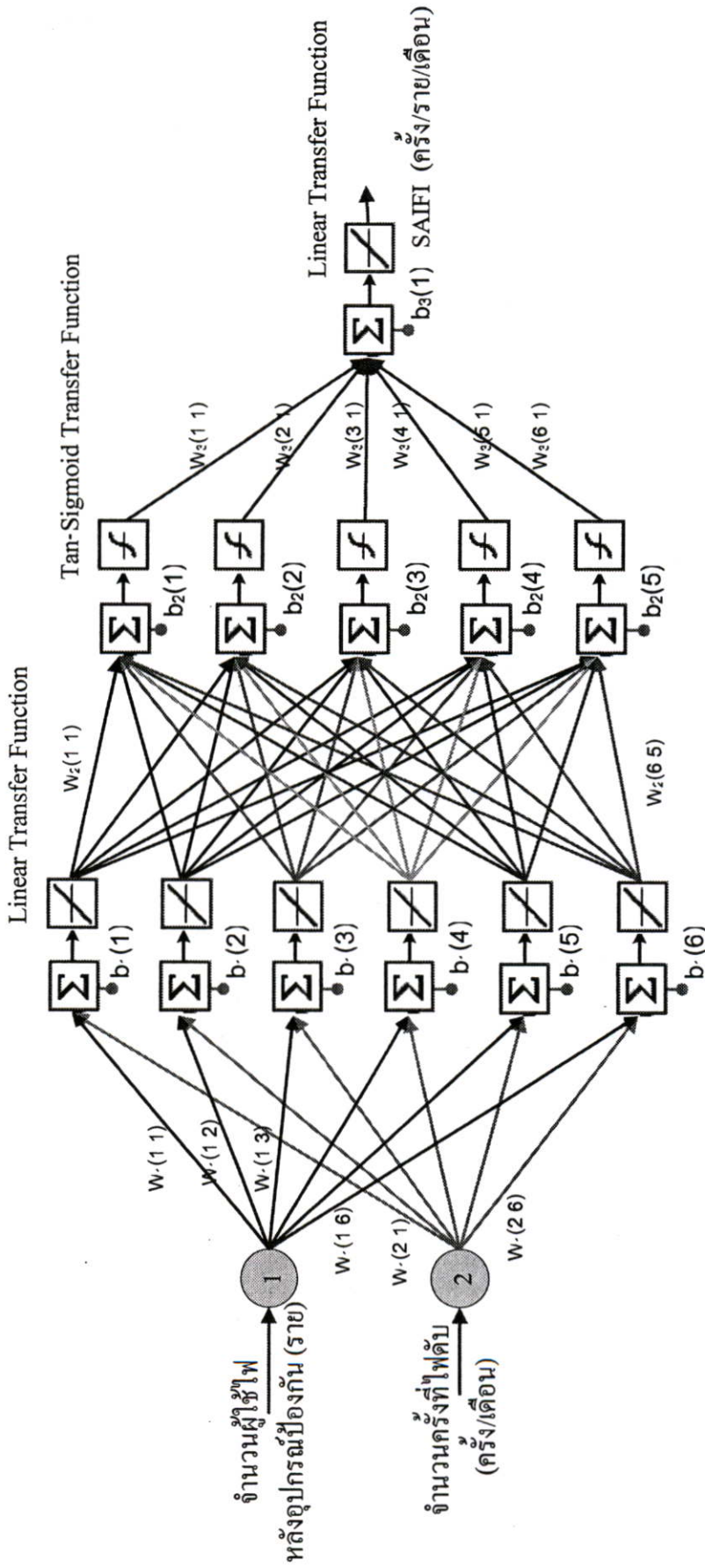
ด้วย Transfer Functions : purelin - tansig - purelin



รูปที่ 5.2 แผนภูมิแสดงค่า SAIPI ของ ฟัดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ด้วย Transfer Functions = purelin - tansig - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง

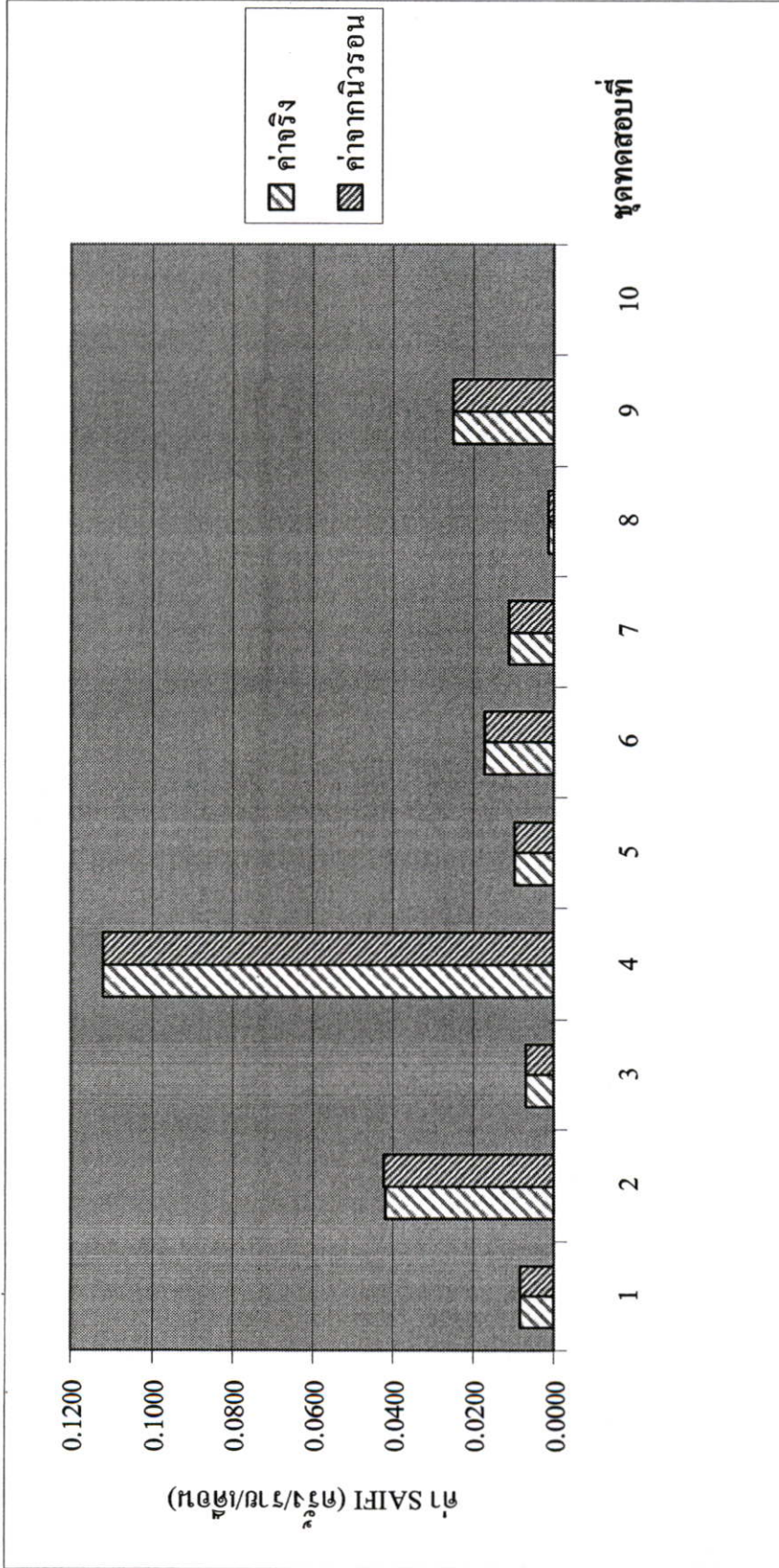
ตารางที่ 5.2 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ที่เคเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนาคิม

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layer ที่ 1	Hidden layer ที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
1	purelin	purelin	purelin	10	9	0.2552	5.9138	298.7029	5.1062×10^3	8.1026	100.9721	599.8249
2	purelin	logsig	purelin	8	7	7.7733	2.314×10^{-11}	2.4193×10^{-6}	2.1634×10^{-5}	1.7739×10^{-10}	0.5236	5.2270
3	purelin	tansig	purelin	6	5	5.4508	1.7558×10^{-7}	2.9754×10^{-5}	4.0199×10^{-4}	3.984×10^{-7}	4.0338×10^{-4}	0.0034
4	logsig	logsig	purelin	4	3	6.0814	1.2856×10^{-6}	0.0521	1.0235	1.2856×10^{-6}	0.1494	1.0235
5	logsig	tansig	purelin	5	4	9.1066	1.2157×10^{-6}	0.0003	0.0024	2.7529×10^{-6}	0.0168	0.1542
6	logsig	purelin	purelin	7	6	6.8559	5.1619×10^{-8}	0.0107	0.1838	5.3516×10^{-6}	0.0365	0.1838
7	tansig	tansig	purelin	2	1	4.44606	1.6320×10^{-5}	0.4532	7.5418	1.6320×10^{-5}	0.2323	2.1920
8	tansig	logsig	purelin	3	2	4.3591	1.8486×10^{-6}	0.0289	0.4654	1.5565×10^{-5}	0.0180	0.1695
9	tansig	purelin	purelin	10	9	11.3548	3.4811×10^{-8}	0.0057	0.0935	2.8961×10^{-6}	0.0484	0.2814



รูปที่ 5.3 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พีดเตอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม

ด้วย Transfer Functions : purelin - tansig - purelin

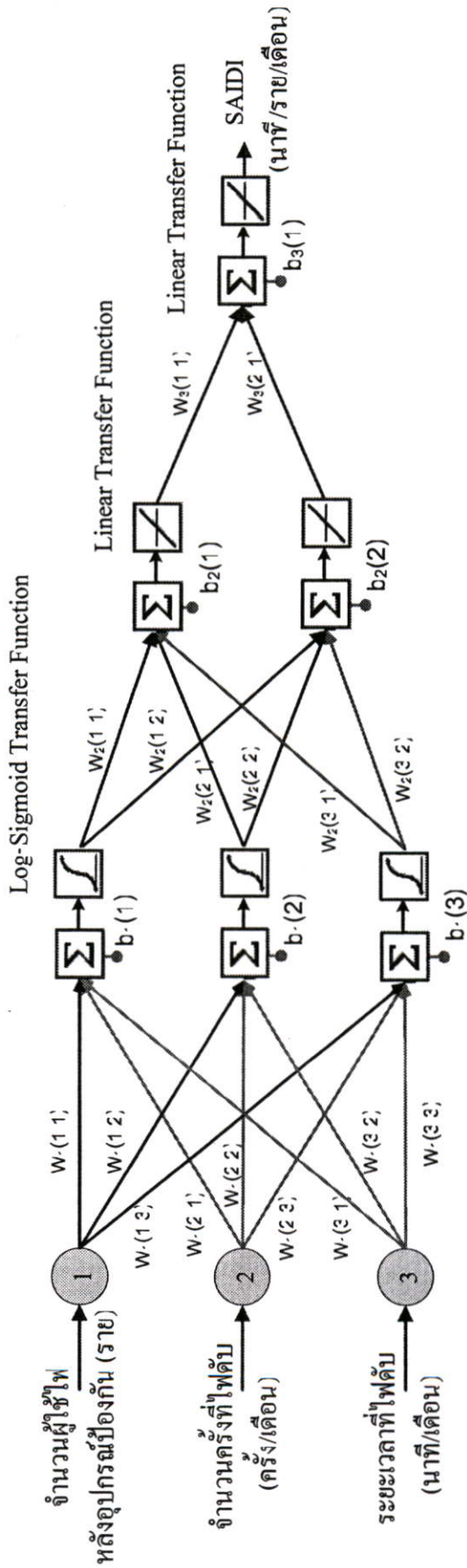


รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดงค่า SAIFI ของ ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนาบดินคม ด้วย Transfer Functions : purelin - tansig - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง

5.2 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พีคเตอร์ 2, 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม

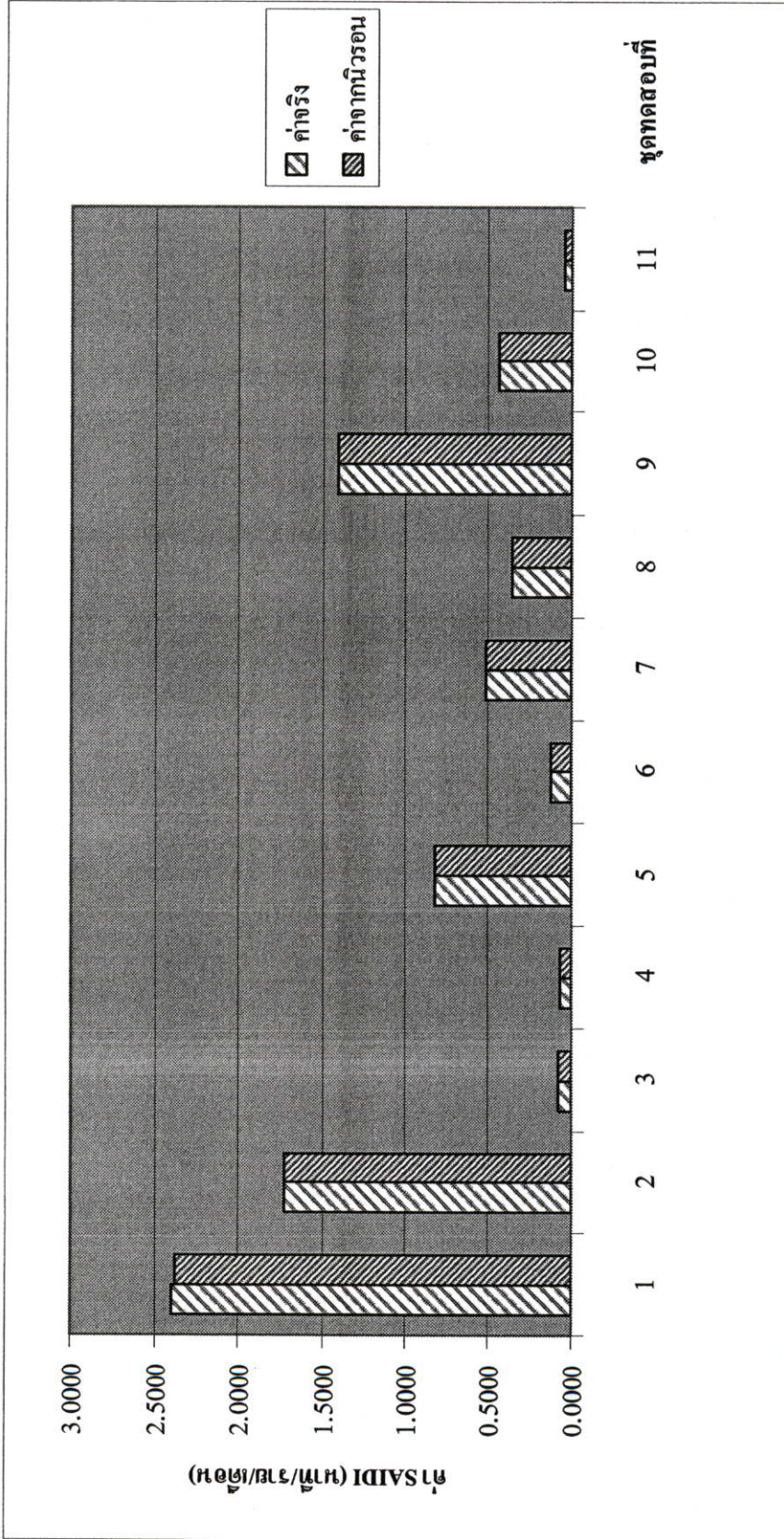
ตารางที่ 5.3 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP คำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พีคเตอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layer ที่ 1	Hidden layer ที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
1	purelin	purelin	purelin	3	2	0.2308	0.3432	156.8859	2.5594x10 ³	0.3432	23.3339	76.7195
2	purelin	logsig	purelin	8	7	5.0494	0.0057	3.1810	31.1905	0.0126	1.6401	5.0491
3	purelin	tansig	purelin	6	5	5.6907	6.1317x10 ⁻⁵	0.2686	2.3828	0.0034	1.8617	10.3745
4	logsig	logsig	purelin	3	2	4.4354	1.3869x10 ⁻⁴	0.6412	4.6489	0.0554	0.9561	2.3549
5	logsig	tansig	purelin	3	2	8.1995	7.6248x10 ⁻⁴	0.2329	2.7225	0.0046	0.6193	2.3909
6	logsig	purelin	purelin	3	2	3.3143	4.837x10 ⁻⁴	0.3314	4.6164	0.0357	0.2431	1.2046
7	tansig	tansig	purelin	3	2	4.9069	0.007	4.602	61.78	0.0801	0.9282	1.7938
8	tansig	logsig	purelin	3	2	4.7333	0.0066	0.9036	12.64	0.0238	1.0884	3.4398
9	tansig	purelin	purelin	3	2	3.7065	0.0013	0.5386	7.7447	0.055	0.5025	3.2442



รูปที่ 5.5 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ฟีดเดอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนาภิคม

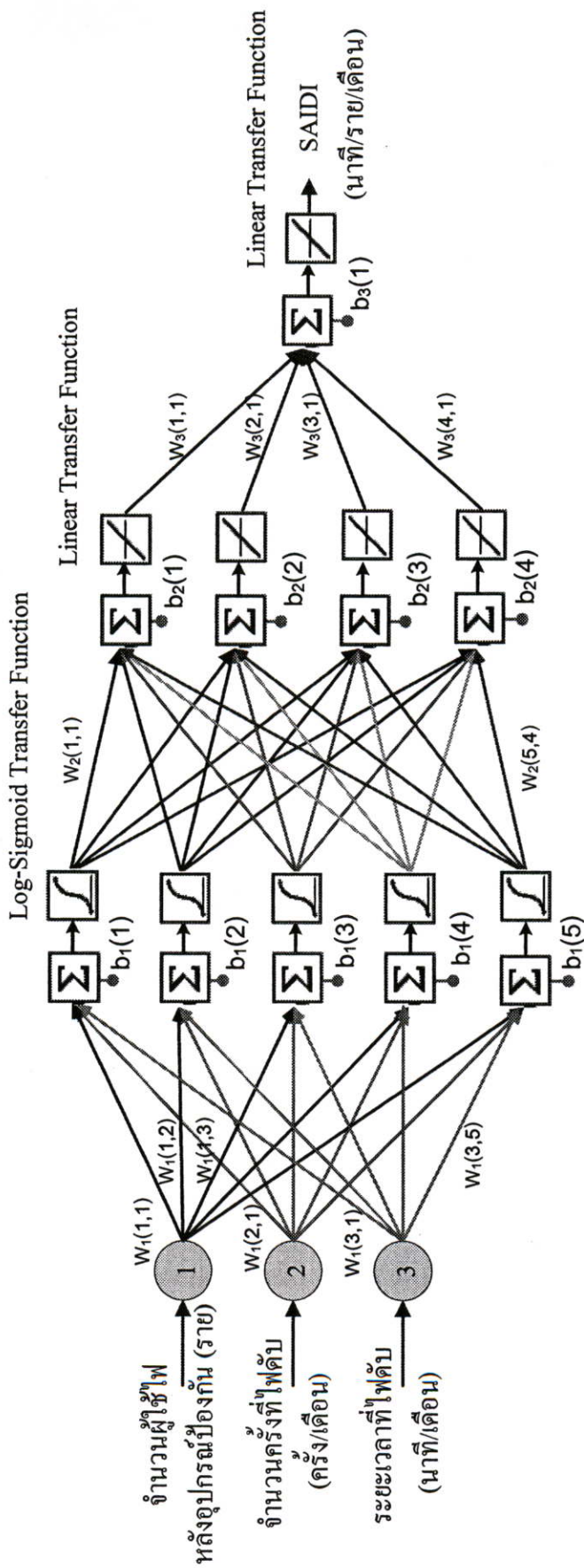
ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin - purelin



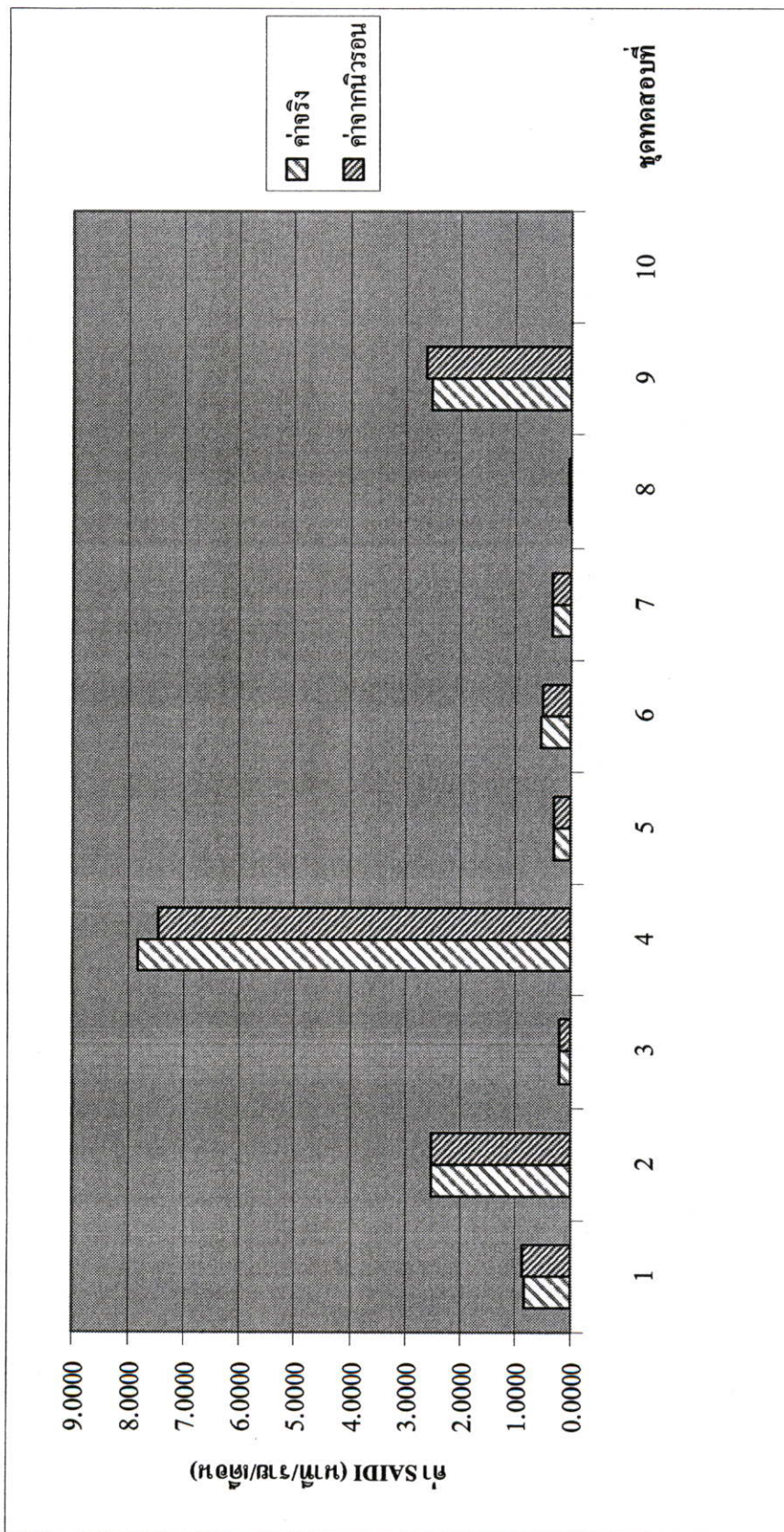
รูปที่ 5.6 แผนภูมิแสดงค่า SAIDI ของ 피เตอร์ 2 สถานี ไฟฟ้าพัฒนาคม ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง

ตารางที่ 5.4 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พีดีเคอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนาติม

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layerที่1	Hidden layerที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
1	purelin	purelin	purelin	7	6	0.2302	2.0606	2.8027×10^3	4.2368×10^4	2.0606	286.412	1.2152×10^3
2	purelin	logsig	purelin	6	5	4.9306	7.1949×10^{-5}	2.5222	42.5601	0.0136	4.7433	12.6995
3	purelin	tansig	purelin	6	5	4.9501	6.1878×10^{-7}	0.0081	0.1441	4.1443×10^{-5}	9.5717	30.2327
4	logsig	logsig	purelin	4	3	4.5632	3.3775×10^{-4}	6.3832	128.3118	0.0064	3.2942	11.0898
5	logsig	tansig	purelin	5	4	6.2066	1.0402×10^{-5}	26.8532	481.3912	0.0286	4.0377	12.5309
6	logsig	purelin	purelin	5	4	5.4672	4.7737×10^{-4}	65.1806	920.5237	0.4121	2.7721	5.3413
7	tansig	tansig	purelin	7	6	3.0534	6.9804×10^{-6}	6.1981	0.3367	5.3915×10^{-4}	7.9935	26.9062
8	tansig	logsig	purelin	7	6	3.8444	0	2.7261×10^{-11}	1.5495×10^{-10}	1.7592×10^{-5}	9.5478	46.1669
9	tansig	purelin	purelin	6	5	4.9446	2.8415×10^{-6}	0.8119	15.6899	0.0015	6.5725	32.7767



รูปที่ 5.7 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พิคเคอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม
 ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin - purelin



รูปที่ 5.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ของ ฟีดเดอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม ด้วย Transfer Functions : logsig - purelin - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง

5.3 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี

ตารางที่ 5.5 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี

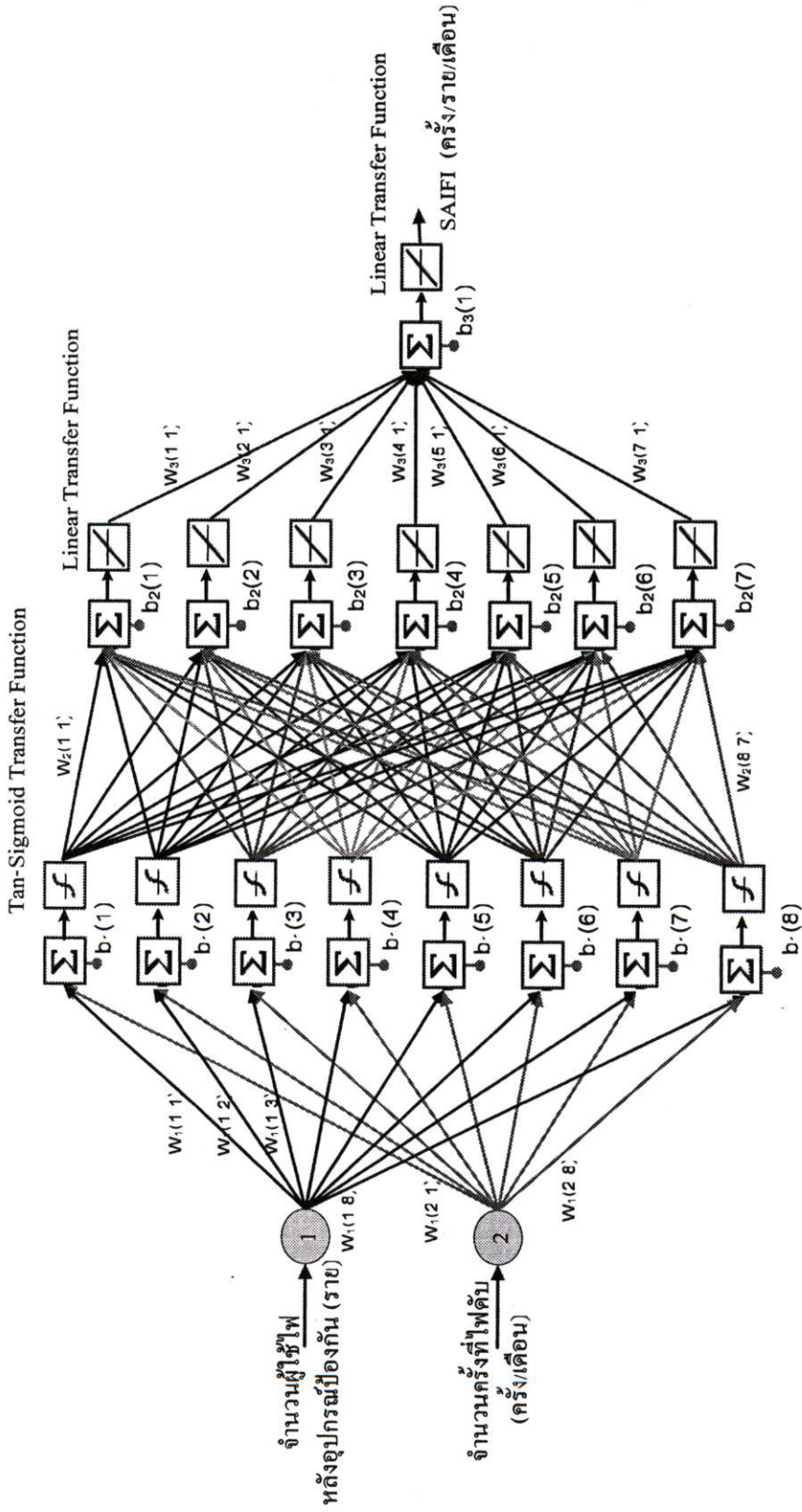
ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layerที่1	Hidden layerที่2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
1	purelin	purelin	purelin	7	6	0.2375	0.155	129.7086	3.1968×10^3	2.4636	105.3813	1.823×10^3
2	purelin	logsig	purelin	10	9	15.1702	4.1969×10^{-7}	0.0016	0.0226	4.1969×10^{-7}	0.0204	0.494
3	purelin	tansig	purelin	10	9	14.838	7.5583×10^{-8}	6.6068×10^{-4}	0.0189	1.4889×10^{-7}	0.0046	0.0834
4	logsig	logsig	purelin	3	2	5.1038	2.0582×10^{-4}	0.87476	0.0709	0.0013	0.7102	0.077
5	logsig	tansig	purelin	6	5	7.1281	5.03×10^{-5}	0.8569	0.0642	5.03×10^{-5}	0.7282	0.0874
6	logsig	purelin	purelin	7	6	8.7404	2.4404×10^{-6}	0.0048	0.0993	2.4404×10^{-6}	0.012	0.2692
7	tansig	tansig	purelin	4	3	5.4098	8.958×10^{-6}	0.846	0.0647	1.3912×10^{-4}	0.715	0.075
8	tansig	logsig	purelin	5	4	6.3059	1.8805×10^{-6}	0.8162	0.0603	1.8805×10^{-6}	1.5637	0.112
9	tansig	purelin	purelin	8	7	9.851	1.8064×10^{-7}	3.7902×10^{-5}	4.134×10^{-4}	1.7255×10^{-7}	0.0034	0.1
10	logsig	logsig	logsig	10	9	14.618	0.0926	939.1192	6.3075×10^3	0.1603	3.167×10^3	8.9605×10^4

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layerที่1	Hidden layerที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
11	logsig	tansig	logsig	7	6	6.6664	3.226×10^{-4}	939.0587	6.3075×10^3	3.789×10^{-4}	3.1674×10^3	8.9605×10^4
12	logsig	purelin	logsig	8	7	6.3338	0.0337	939.1228	6.3075×10^3	0.0337	3.1675×10^3	8.9605×10^4
13	tansig	logsig	logsig	6	5	6.1423	1.7616×10^{-4}	939.0623	6.3075×10^3	2.2809×10^{-4}	3.1674×10^3	8.9605×10^5
14	tansig	tansig	logsig	4	3	3.3497	7.988×10^{-6}	939.0586	6.3075×10^3	4.3662×10^{-5}	3.1674×10^3	8.9605×10^4
15	tansig	purelin	logsig	9	8	5.5999	0.0996	939.1786	6.3075×10^3	0.8639	3.1676×10^3	8.9605×10^4
16	purelin	logsig	logsig	10	9	13.8167	6.0046×10^{-11}	939.0584	6.3075×10^3	6.0046×10^{-11}	3.1674×10^3	8.9605×10^4
17	purelin	tansig	logsig	6	5	4.5954	4.6376×10^{-4}	939.0948	6.3075×10^3	0.0571	3.1675×10^3	8.9605×10^4
18	purelin	purelin	logsig	7	6	0.8163	1.1053	942.0732	6.3075×10^3	1.5187	3.168×10^3	8.9605×10^4
19	tansig	tansig	tansig	8	7	9.8465	2.3495×10^{-6}	4.4132	71.6482	5.9963×10^{-6}	4.4957	67.035
20	tansig	logsig	tansig	7	6	8.8841	2.9369×10^{-7}	4.4097	71.6482	3.16×10^{-5}	4.5152	67.035

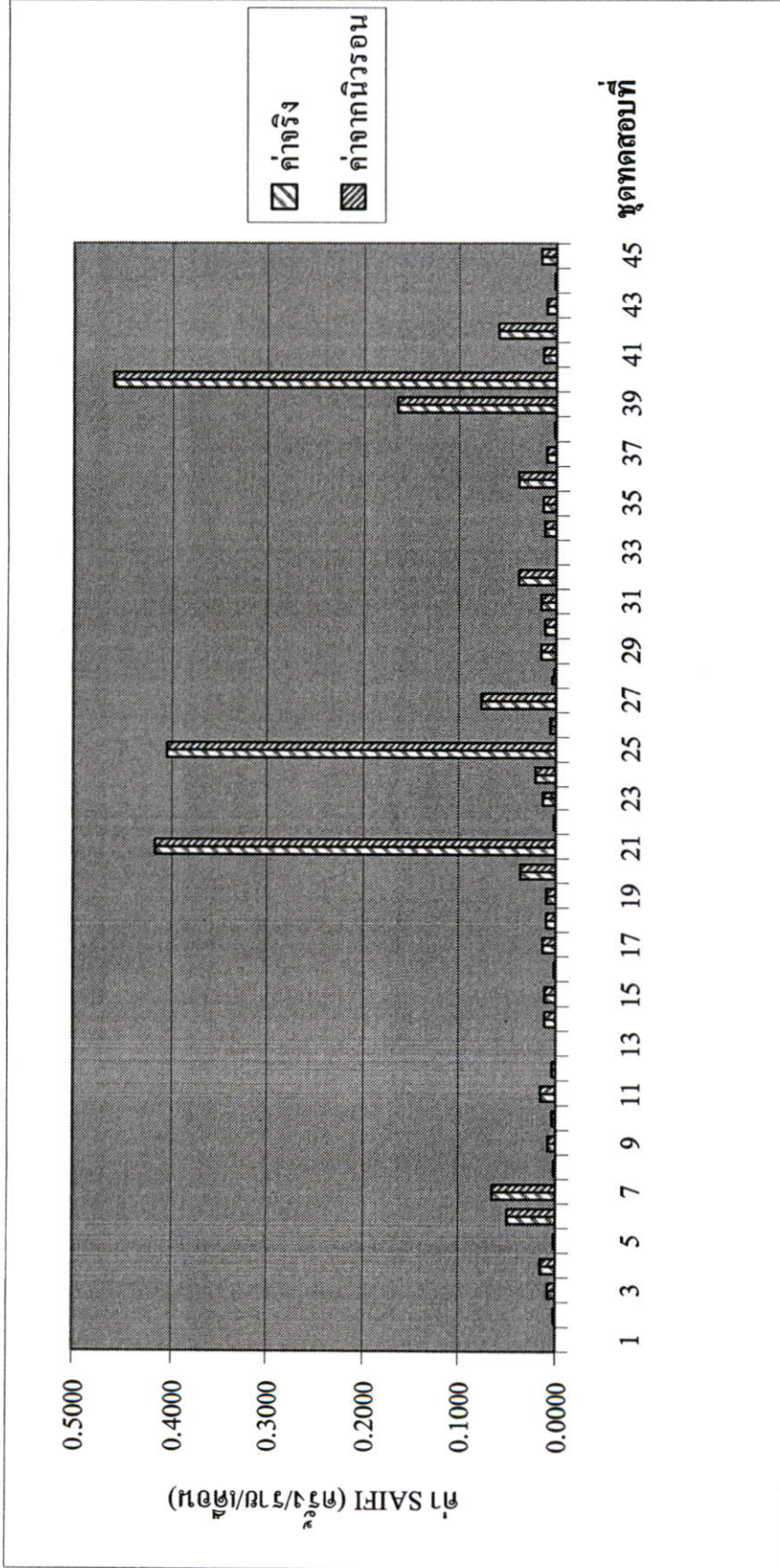
ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layerที่1	Hidden layerที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
21	tansig	purelin	tansig	9	8	8.936	1.0762×10^{-5}	4.4121	71.6482	3.6915×10^{-5}	4.5742	67.035
22	logsig	tansig	tansig	9	8	12.4945	2.0215×10^{-5}	4.4147	71.6482	3.7976×10^{-5}	4.5143	67.035
23	logsig	logsig	tansig	7	6	8.5665	1.6757×10^{-6}	4.4114	71.6482	8.6874×10^{-5}	4.5048	67.035
24	logsig	purelin	tansig	6	5	6.1009	5.8531×10^{-6}	4.4258	71.6482	9.0371×10^{-5}	4.6339	67.035
25	purelin	tansig	tansig	10	9	14.6713	6.6667×10^{-6}	4.4174	71.6482	4.6646×10^{-5}	4.5652	67.035
26	purelin	logsig	tansig	9	8	11.822	1.0863×10^{-5}	4.414	71.6482	6.9676×10^{-5}	4.6408	67.035
27	purelin	purelin	tansig	6	5	0.6561	0.6332	229.2282	5.1325×10^3	1.0816	164.4174	2.9975×10^3



รูปที่ 5.9 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี

ด้วย Transfer Functions : tansig - purelin - purelin



รูปที่ 5.10 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIPI ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer Functions : tansig - purelin - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง

ตารางที่ 5.6 ผลการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP จำนวนค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี

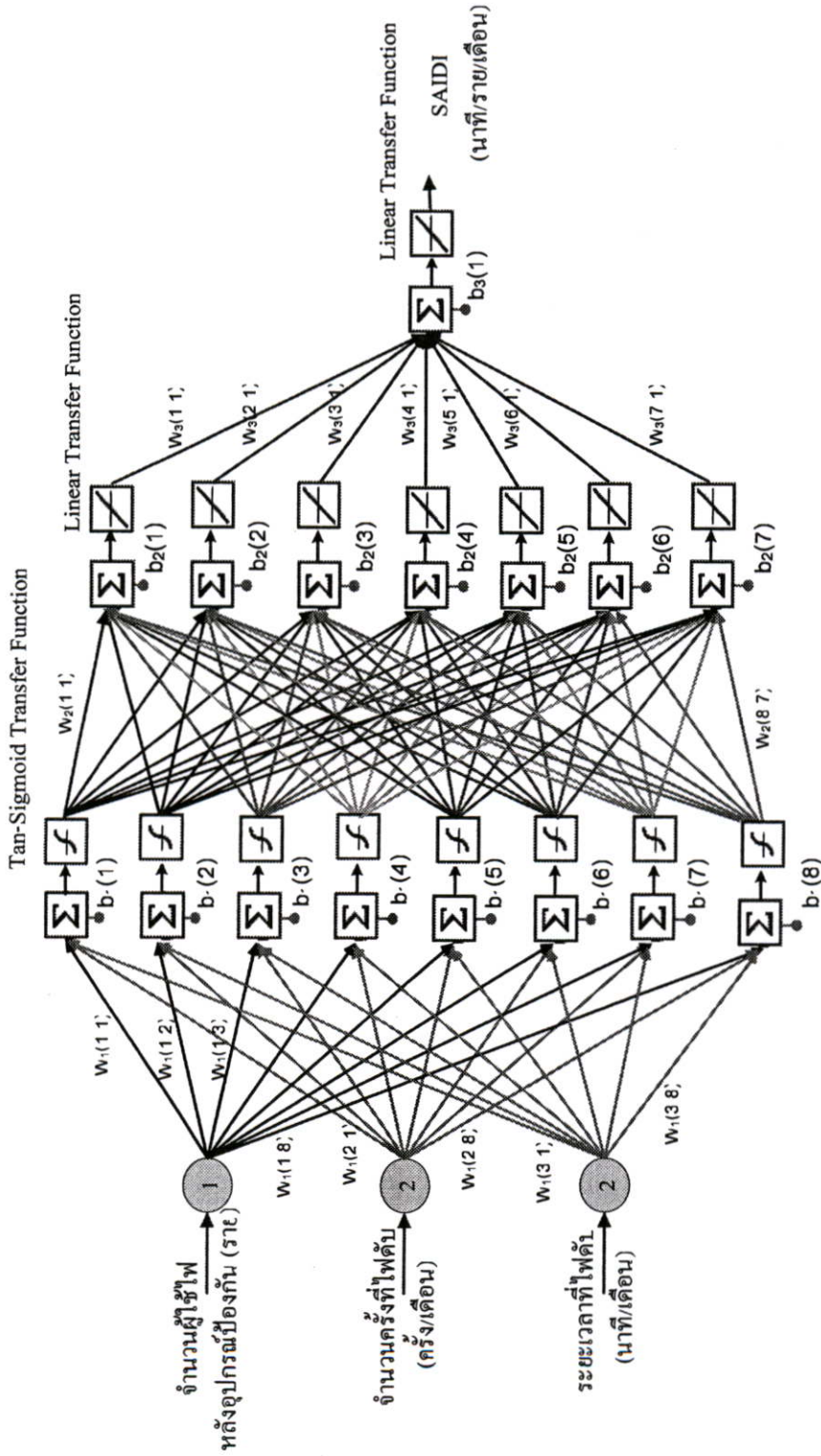
ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layer ที่ 1	Hidden layer ที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
1	purelin	purelin	purelin	3	2	0.2142	3.0383	208.2716	1.0114×10^4	3.5889	98.7323	827.7757
2	purelin	logsig	purelin	10	9	16.3939	1.0344×10^{-8}	0.0367	0.8911	0.001	0.3719	7.5031
3	purelin	tansig	purelin	7	6	8.6276	1.9637×10^{-5}	0.0338	0.4282	6.3444×10^{-5}	0.1944	6.3328
4	logsig	logsig	purelin	7	6	9.0138	3.6411×10^{-5}	9.9687	0.197	0.0017	3.0636	0.2139
5	logsig	tansig	purelin	9	8	14.0515	1.0735×10^{-6}	0.599	0.0275	7.1557×10^{-4}	5.5464	0.1928
6	logsig	purelin	purelin	6	5	7.1384	6.1369×10^{-5}	0.10	3.3858	4.9811×10^{-4}	0.1536	4.1654
7	tansig	tansig	purelin	5	4	6.5229	1.2099×10^{-6}	1.8865	0.1279	0.0034	2.606	0.2046
8	tansig	logsig	purelin	6	5	7.4647	7.7193×10^{-6}	0.9089	0.0811	4.551×10^{-4}	60.9828	1.5555
9	tansig	purelin	purelin	8	7	10.8075	3.5131×10^{-5}	0.0202	0.1705	7.9069×10^{-4}	0.0621	1.3077
10	logsig	logsig	logsig	4	3	4.4068	0.031	1.0443×10^3	1.6389×10^4	0.0727	1.4338×10^3	2.0801×10^4

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layerที่1	Hidden layerที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
11	logsig	tansig	logsig	3	2	4.0238	0.2692	1.0439×10^3	1.6389×10^4	0.1574	1.4338×10^3	2.0801×10^4
12	logsig	purelin	logsig	6	5	5.1975	1.2236×10^{-4}	1.0443×10^3	1.6389×10^4	2.8796	1.434×10^3	2.0801×10^4
13	tansig	logsig	logsig	4	3	4.7645	0.0014	1.0434×10^3	1.6389×10^4	1.0814	1.434×10^3	2.0801×10^4
14	tansig	tansig	logsig	5	4	4.4441	0.1935	1.0438×10^3	1.6389×10^4	0.084	1.434×10^3	2.0801×10^4
15	tansig	purelin	logsig	4	3	3.3031	6.4047×10^{-4}	1.0435×10^3	1.6389×10^4	1.3819	1.4343×10^3	2.0801×10^4
16	purelin	logsig	logsig	5	4	5.5062	0.1641	1.048×10^3	1.6389×10^4	2.746	1.4342×10^3	2.0801×10^4
17	purelin	tansig	logsig	7	6	6.4795	1.1797×10^{-4}	1.0477×10^3	1.6389×10^4	0.7229	1.4346×10^3	2.0801×10^4
18	purelin	purelin	logsig	7	6	0.5823	3.5647	1.0532×10^3	1.6389×10^4	0.0638	1.4357×10^3	2.0801×10^4
19	tansig	tansig	tansig	5	4	6.1085	0.0014	5.1063	83.7295	0.0014	6.3189	65.1318
20	tansig	logsig	tansig	5	4	6.6744	3.9951×10^{-4}	3.6368	83.7295	0.0065	4.823	65.1318

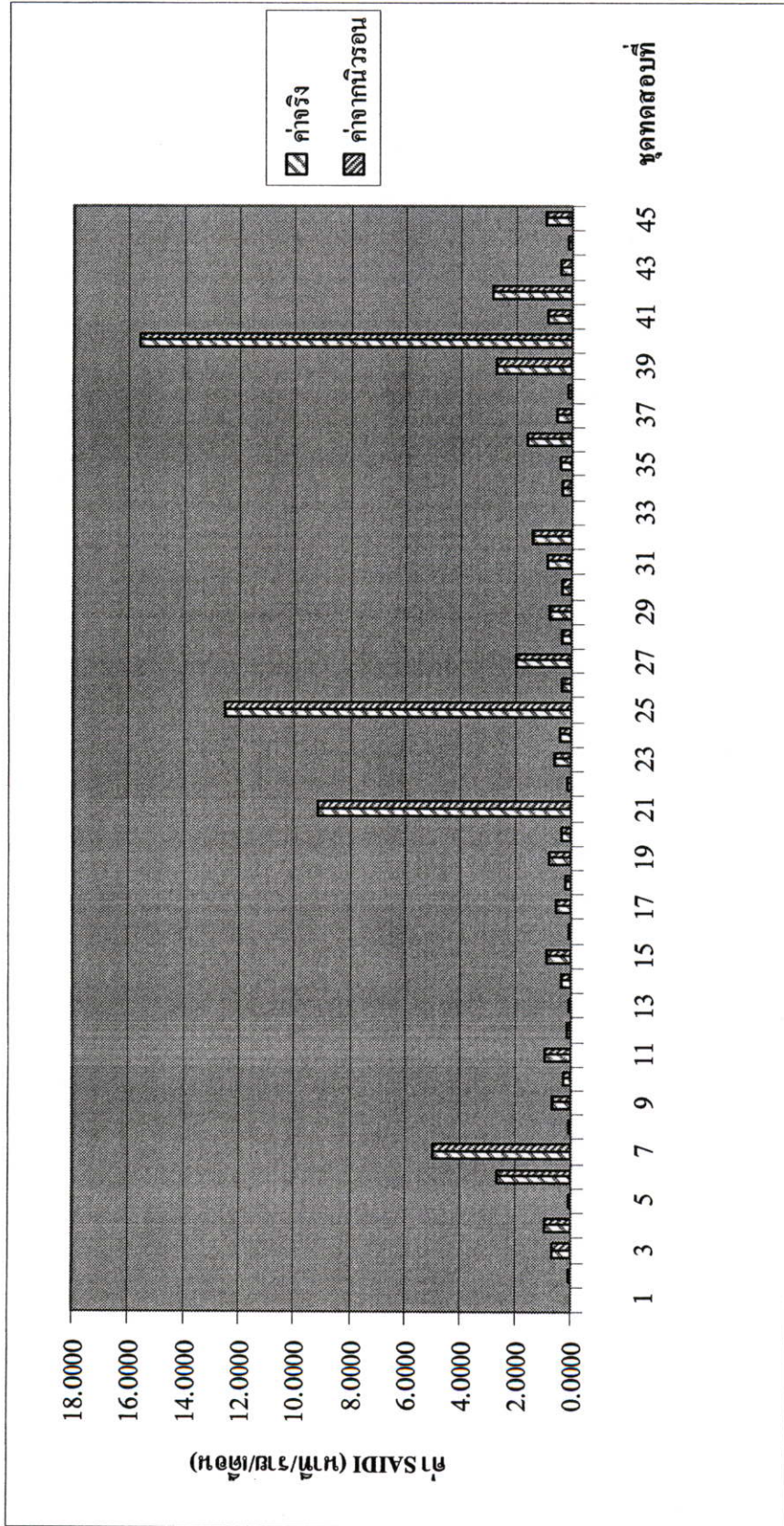
ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

ที่	Transfer Functions			จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 1	จำนวน นิวรอน ใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ ในการ ฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
	Hidden layerที่1	Hidden layerที่ 2	Output layer				Min(%)	Mean(%)	Max(%)	Min(%)	Mean(%)	Max(%)
21	tansig	purelin	tansig	7	6	6.2486	0.0015	15.2503	246.8984	0.0511	13.4962	169.7982
22	logsig	tansig	tansig	5	4	6.6519	1.5568×10^{-4}	3.8944	83.7295	0.0037	4.8017	65.1318
23	logsig	logsig	tansig	5	4	6.6225	0.0014	5.4217	109.3379	0.0922	5.5253	65.1318
24	logsig	purelin	tansig	4	3	5.3167	0.0739	18.3928	211.9655	0.2222	14.4555	99.6566
25	purelin	tansig	tansig	6	5	6.2812	4.3307×10^{-4}	11.3752	117.6145	0.424	16.8029	427.4013
26	purelin	logsig	tansig	6	5	7.0019	0.0139	16.8015	142.7961	0.8826	25.7167	251.254
27	purelin	purelin	tansig	7	6	0.4493	0.6362	98.5738	3.3621×10^3	0.06	84.4401	892.2375



รูปที่ 5.11 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี

ด้วย Transfer Functions : tansig - purelin - purelin



รูปที่ 5.12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer Functions : tansig - purelin - purelin เปรียบเทียบกับค่าจริง

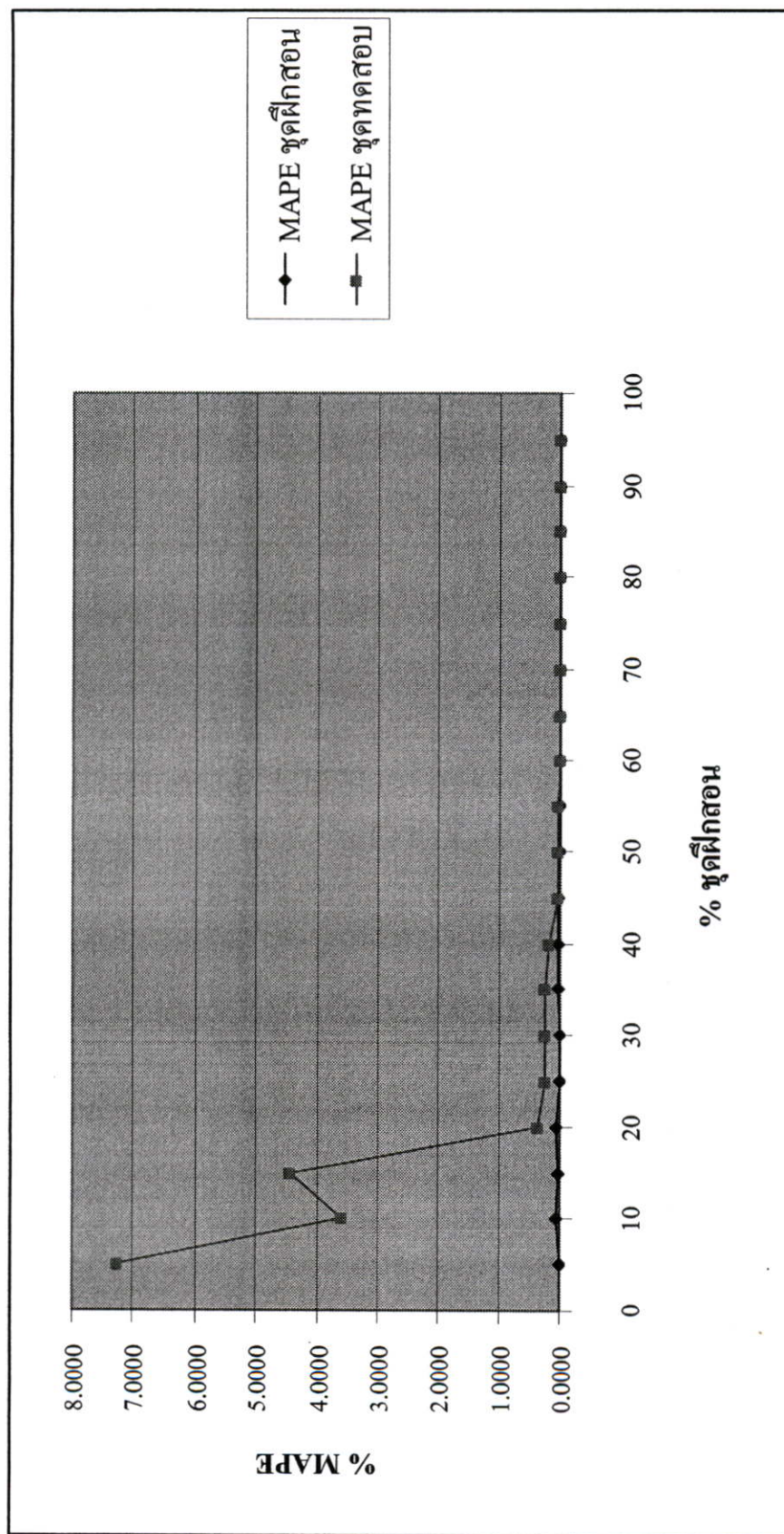
5.4 ผลการทดลองปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง
ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี

ตารางที่ 5.7 ผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนสำหรับทดสอบค่า SAIFI สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วย Transfer Functions = tansig - purelin - purelin

ชุดทดสอบ (ชุด)	ชุดฝึกสอน (ชุด)	% ชุดฝึกสอน	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 1	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
						min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
141	7	5	4	3	1.7959	7.2117×10^{-12}	4.517×10^{-9}	2.8361×10^{-8}	7.2117×10^{-12}	7.2566	142.0267
133	15	10	2	1	4.1353	1.8205×10^{-4}	0.0741	0.3854	1.397×10^{-4}	3.6003	71.7406
126	22	15	3	2	5.0336	6.011×10^{-5}	0.0319	0.1629	9.1829×10^{-5}	4.4223	151.6287
118	30	20	2	1	3.2595	3.5178×10^{-5}	0.0641	0.2738	3.1369×10^{-4}	0.345	11.8044
111	37	25	2	1	3.3959	9.4076×10^{-6}	0.0137	0.1146	9.4076×10^{-6}	0.2489	11.9151
103	45	30	6	5	7.1848	3.0919×10^{-7}	0.0067	0.0643	3.0919×10^{-7}	0.2475	6.5021
96	52	35	3	2	4.6772	4.2377×10^{-7}	0.0361	0.643	2.0251×10^{-4}	0.2335	9.7153
89	59	40	5	4	5.8694	4.4496×10^{-5}	0.0179	0.1525	4.4496×10^{-5}	0.1883	4.3293
81	67	45	4	3	5.1544	1.3741×10^{-4}	0.0341	0.6591	1.3741×10^{-4}	0.0159	0.3501

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ชุดทดสอบ (ชุด)	ชุดฝึกสอน (ชุด)	%ชุดฝึกสอน	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 1	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
						min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
74	74	50	6	5	6.3939	9.3387×10^{-7}	0.0060	0.0668	1.2426×10^{-6}	0.0396	0.85
67	81	55	6	5	6.7954	5.5318×10^{-7}	0.0018	0.0171	1.3071×10^{-6}	0.0158	0.5058
59	89	60	9	8	11.7314	4.2009×10^{-8}	0.0015	0.0179	4.2009×10^{-8}	0.0103	0.2646
52	96	65	8	7	9.8508	1.8914×10^{-7}	0.0012	0.0235	1.8914×10^{-7}	0.0044	0.1125
45	103	70	8	7	9.851	1.8064×10^{-7}	3.7902×10^{-5}	4.134×10^{-4}	1.7255×10^{-7}	0.0034	0.1
37	111	75	10	9	15.3499	1.3385×10^{-8}	7.0338×10^{-5}	0.0042	1.4539×10^{-8}	8.037×10^{-4}	0.0276
30	118	80	9	8	12.048	2.7366×10^{-7}	1.7614×10^{-4}	0.0143	4.3286×10^{-7}	0.0016	0.0438
22	126	85	8	7	10.2598	1.2046×10^{-6}	0.0074	0.1733	1.2046×10^{-6}	0.002	0.0143
15	133	90	5	4	6.5683	7.0085×10^{-6}	0.0081	0.2681	6.9814×10^{-4}	0.0053	0.05
7	141	95	10	9	16.4785	7.7044×10^{-7}	8.5245×10^{-4}	0.0437	3.3882×10^{-5}	6.814×10^{-4}	0.0037



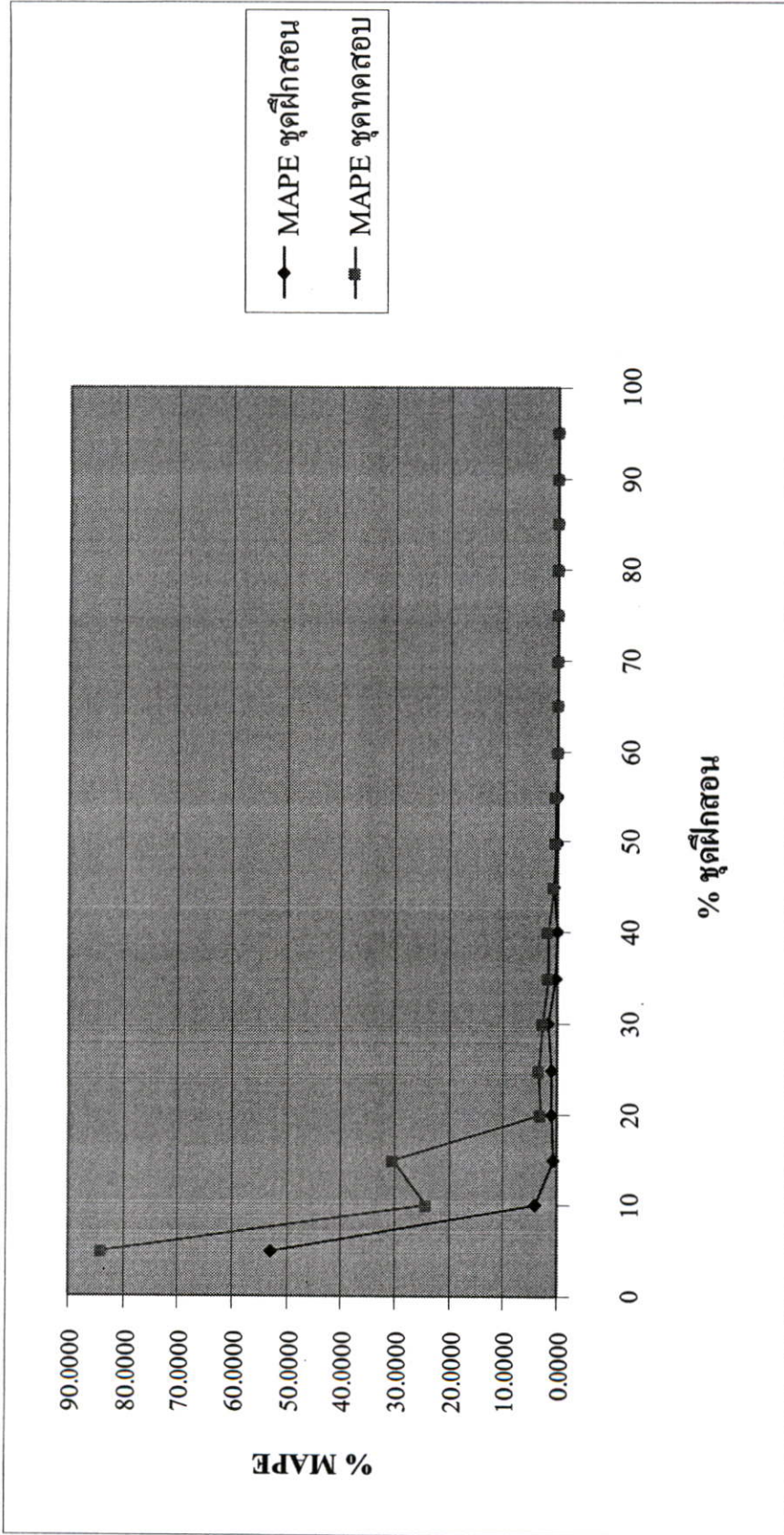
รูปที่ 5.13 ผลการทดสอบค่า คำนี SAIPI ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP ใช้ Transfer Functions : tansig - purelin - purelin

ตารางที่ 5.8 ผลการปรับจำนวนชุดฝึกสอนสำหรับทดสอบค่า SAIDI สถานีไฟฟ้าชุมชน ด้วย Transfer Functions = tansig - purelin - purelin

ชุดทดสอบ (ชุด)	ชุดฝึกสอน (ชุด)	%ชุดฝึกสอน	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 1	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
						min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
141	7	5	4	3	0.3026	11.4766	52.7628	219.7606	0.396	83.9862	1.3958×10^3
133	15	10	3	2	4.5028	0.0152	4.0464	16.8203	0.121	24.3529	506.4496
126	22	15	5	4	6.2807	2.2141×10^{-4}	0.5232	4.4189	0.0038	30.3626	362.044
118	30	20	3	2	3.7258	3.595×10^{-4}	1.0336	7.3909	0.0173	3.1193	110.7384
111	37	25	3	2	4.5846	8.0923×10^{-4}	0.9929	7.7032	4.4504×10^{-5}	3.539	84.3429
103	45	30	3	2	3.8681	0.0022	1.8363	51.3172	0.0187	2.6138	91.3203
96	52	35	4	3	5.1818	1.8576×10^{-6}	0.1994	3.1252	0.0014	1.7796	58.9837
89	59	40	4	3	4.974	9.5304×10^{-5}	0.0794	0.6955	1.6063×10^{-6}	1.5618	118.7574
81	67	45	4	3	5.1653	6.4496×10^{-4}	0.7197	13.891	0.0012	0.6524	15.5064

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

ชุดทดสอบ (ชุด)	ชุดฝึกสอน (ชุด)	% ชุดฝึกสอน	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 1	จำนวนนิวรอนใน Hidden layer ที่ 2	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน (นาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
						min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
74	74	50	5	4	6.1782	5.323×10^{-6}	0.0713	2.1314	4.7544×10^{-4}	0.2434	12.1489
67	81	55	8	7	11.8408	2.2165×10^{-6}	0.0522	0.8089	4.3192×10^{-4}	0.1695	6.1188
59	89	60	7	6	8.6311	1.2997×10^{-6}	0.0559	1.25	2.8329×10^{-4}	0.1101	4.3276
52	96	65	9	8	13.6955	2.466×10^{-7}	0.0113	0.1035	4.9967×10^{-4}	0.1082	3.7337
45	103	70	8	7	10.8075	3.5131×10^{-5}	0.0202	0.1705	7.9069×10^{-4}	0.0621	1.3077
37	111	75	7	6	9.0034	3.2849×10^{-5}	0.0442	1.2466	5.6349×10^{-5}	0.0232	0.1496
30	118	80	5	4	6.6976	1.3645×10^{-5}	0.0359	1.5651	0.0012	0.018	0.1285
22	126	85	5	4	7.8917	1.4688×10^{-4}	0.0354	1.3597	4.9162×10^{-4}	0.0106	0.0644
15	133	90	7	6	9.1406	1.6624×10^{-5}	0.039	1.6683	2.3286×10^{-4}	0.0089	0.0303
7	141	95	4	3	4.881	5.5248×10^{-6}	0.0304	1.514	6.8194×10^{-4}	0.0038	0.0065



รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบค่าดัชนี SAIDI ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ชนิด BP

ใช้ Transfer Functions : tansig - purelin - purelin

5.5 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยการปรับสมการ RBF ให้กราฟมีลักษณะอ้วนขึ้น, ผอมลง

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-n^2}$

ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ต่ำที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
100 ถึง 10000	100	9.031	0.1375	971.4816	6.4615×10^3	0.1375	3.25×10^3	9.1761×10^4
10 ถึง 1000	10	9.14	3.7384	918.2603	6.106×10^3	3.7384	3.0717×10^3	8.6764×10^4
1 ถึง 100	1	9.141	1.2747	217.0375	2.0072×10^3	1.8951	709.6779	2.0287×10^4
0.1 ถึง 10	0.1	9.141	0	52.2886	431.9085	0	224.9685	6.7634×10^3
0.02 ถึง 2	0.02	9.188	0	9.3486	135.7223	0	87.4922	2.8776×10^3
0.0167 ถึง 1.6667	0.0167	9.219	0	7.7405	119.9479	0	79.0584	2.612×10^3
0.0143 ถึง 1.4286	0.0143	9.203	0	6.6305	107.33	0	71.9647	2.3786×10^3
0.0125 ถึง 1.25	0.0125	9.25	0	5.763	96.3691	0	65.6829	2.1693×10^3
0.0111 ถึง 1.1111	0.0111	9.203	0	5.1293	86.3231	0	60.2287	1.9884×10^3

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-0.5n^2}$

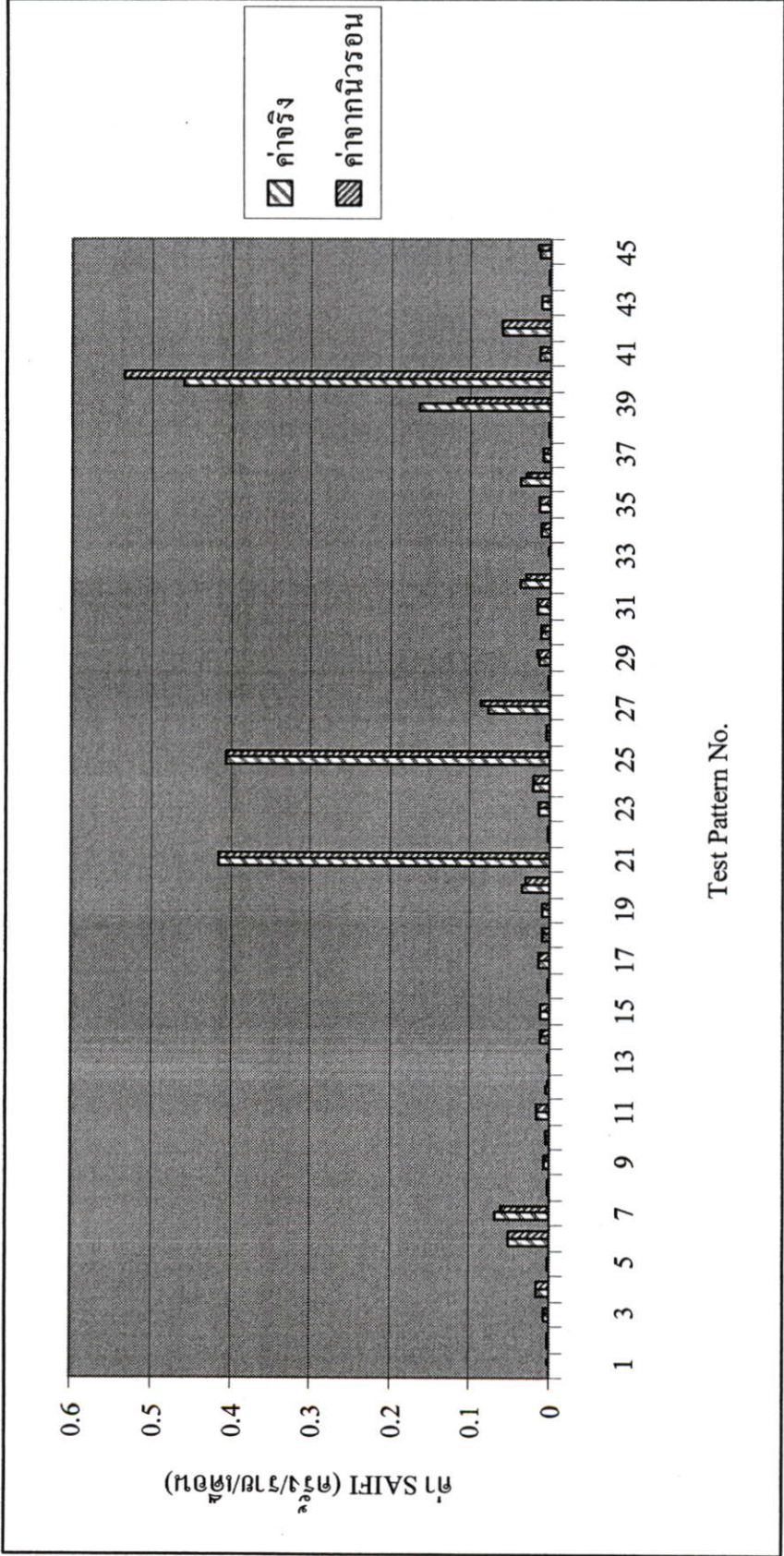
ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
100 ถึง 10000	100	9.297	0.1579	971.7659	6.4634×10^3	0.1579	3.2509×10^3	9.1788×10^4
10 ถึง 1000	10	9.14	1.822	944.4082	6.2807×10^3	1.822	3.1594×10^3	8.922×10^4
1 ถึง 100	1	9.125	1.1897	288.5618	2.1476×10^3	2.5501	966.7206	2.775×10^4
0.1 ถึง 10	0.1	9.156	0	82.5651	810.9119	0	303.3065	8.7615×10^3
0.02 ถึง 2	0.02	9.125	0	13.101	168.8091	0	104.121	3.3943×10^3
0.01 ถึง 1	0.01	9.188	0	6.5612	106.5092	0	71.4925	2.363×10^3
0.0083 ถึง 0.8333	0.0083	9.125	0	5.4316	91.4017	0	62.9252	2.0776×10^3

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-1.5n^2}$

ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่คิดที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
100 ถึง 10000	100	9.828	0.117	971.1974	6.4596×10^3	0.117	3.249×10^3	9.1734×10^4
10 ถึง 1000	10	9.172	5.5751	893.5063	5.9404×10^3	5.5751	2.9887×10^3	8.4437×10^4
1 ถึง 100	1	9.219	0.7202	196.4201	2.1176×10^3	0.7536	621.4738	1.7511×10^4
0.1 ถึง 10	0.1	9.266	0	37.6756	343.4993	0	187.9414	5.827×10^3
0.02 ถึง 2	0.02	9.219	0	7.5816	118.2533	0	78.1151	2.5817×10^3
0.0167 ถึง 1.6667	0.0167	9.297	0	6.303	103.375	0	69.6872	2.3029×10^3
0.0143 ถึง 1.4286	0.0143	9.25	0	5.378	90.5209	0	62.4473	2.0618×10^3

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-2n^2}$

ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
100 ถึง 10000	100	9.343	0.0966	970.9134	6.4577x10 ³	0.0966	3.2481x10 ³	9.1708x10 ⁴
10 ถึง 1000	10	9.141	7.3357	870.0551	5.7833x10 ³	7.3357	2.91x10 ³	8.223x10 ⁴
1 ถึง 100	1	9.172	0.1783	187.7954	2.2048x10 ³	0.5024	578.4236	1.6099x10 ⁴
0.1 ถึง 10	0.1	9.125	0	30.4707	304.5396	0	168.542	5.2983x10 ³
0.02 ถึง 2	0.02	9.172	0	6.5612	106.5092	0	71.4925	2.363x10 ³
0.0167 ถึง 1.6667	0.0167	9.235	0	5.4316	91.4017	0	62.9252	2.0776x10 ³



รูปที่ 5.15 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIPI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการ $d(n) = e^{-n^2}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-n^2}$

ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
100 ถึง 10000	100	9.109	2.2267	1.0994x10 ³	1.7084x10 ⁴	10.9385	1.5026x10 ³	2.1663x10 ⁴
10 ถึง 1000	10	9.047	1.7235	1.0415x10 ³	1.6345x10 ⁴	7.7576	1.4313x10 ³	2.0452x10 ⁴
1 ถึง 100	2	9.032	1.2722	479.1645	8.453x10 ³	0.1447	791.8981	1.3762x10 ⁴
0.1 ถึง 10	0.5	9.109	2.81x10 ⁻⁴	184.7565	2.5798x10 ³	10.3027	674.8452	2.132x10 ⁴
0.02 ถึง 2	0.5	9.266	2.81x10 ⁻⁴	184.7565	2.5798x10 ³	10.3027	674.8452	2.132x10 ⁴
0.01 ถึง 1	0.5	9.359	2.81x10 ⁻⁴	184.7565	2.5798x10 ³	10.3027	674.8452	2.132x10 ⁴

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-0.5n^2}$

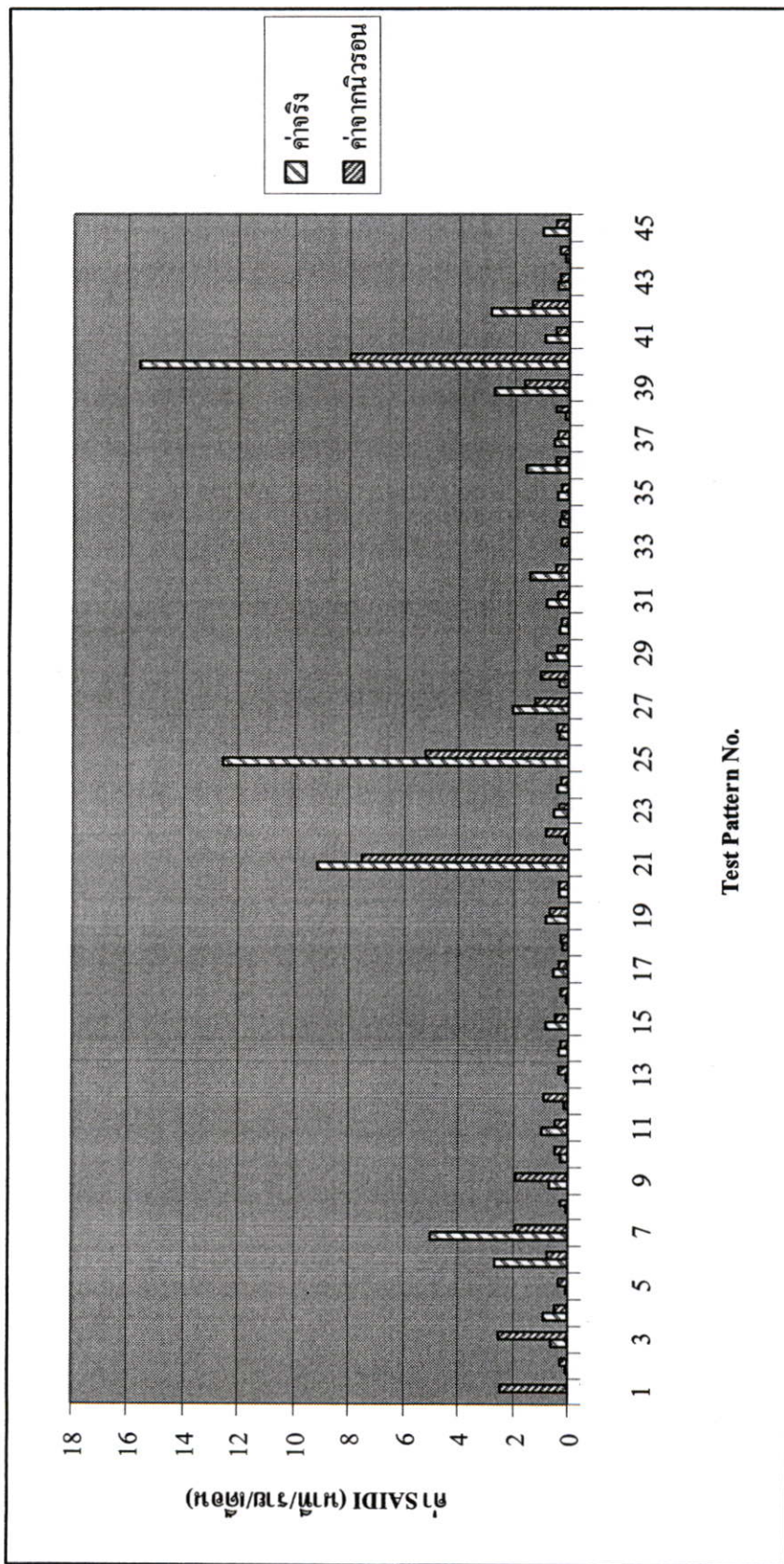
ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน				ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ			
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)		
100 ถึง 10000	100	9.078	2.2192	1.0997×10^3	1.7088×10^4	10.9197	1.503×10^3	2.1669×10^4		
10 ถึง 1000	10	9.157	2.9357	1.0701×10^3	1.6711×10^4	10.3041	1.4665×10^3	2.1049×10^4		
1 ถึง 100	1	9.125	1.5364	354.4012	6.4984×10^3	7.6511	753.2706	1.7509×10^4		
0.1 ถึง 10	0.4	9.11	0.0048	203.456	3.3823×10^3	4.6639	682.3674	2.1097×10^4		
0.02 ถึง 2	0.36	9.219	4.4444×10^{-4}	187.4589	2.6888×10^3	9.5162	674.9941	2.1244×10^4		
0.01 ถึง 1	0.35	9.39	2.1596×10^{-4}	183.2592	2.5209×10^3	10.7371	674.8956	2.1368×10^4		
0.0067 ถึง 0.6667	0.3533	9.375	2.7652×10^{-4}	184.6639	2.5761×10^3	10.3296	674.8456	2.1322×10^4		
0.005 ถึง 0.5	0.355	9.359	3.1211×10^{-4}	185.3646	2.6041×10^3	10.1261	674.8518	2.1301×10^4		

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-1.5n^2}$

ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ตีที่สุด	เวลาที่ได้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
100 ถึง 10000	100	9.188	2.22342	1.0991×10^3	1.708×10^4	10.9572	1.5622×10^3	2.1657×10^4
10 ถึง 1000	10	9.234	0.0567	1.0141×10^3	1.5993×10^4	5.3143	1.3978×10^3	1.9881×10^4
1 ถึง 100	2	9.219	0.9334	400.529	7.2205×10^3	4.2068	750.834	1.5396×10^4
0.1 ถึง 10	0.6	9.25	1.6419×10^{-4}	181.7423	2.4623×10^3	11.1766	675.0429	2.1421×10^4
0.02 ถึง 2	0.62	9.36	3.8534×10^{-4}	186.6047	2.654×10^3	9.7652	674.9136	2.1266×10^4
0.01 ถึง 1	0.61	9.422	2.5412×10^{-4}	184.1797	2.557×10^3	10.4701	674.8534	2.1338×10^4
0.0067 ถึง 0.6667	0.6133	9.579	2.9259×10^{-4}	184.9898	2.5891×10^3	10.235	674.8459	2.1312×10^4

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยสมการ $a(n) = e^{-2n^2}$

ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
			min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
100 ถึง 10000	100	9.125	2.2417	1.0988×10^3	1.7076×10^4	10.976	1.5018×10^3	2.165×10^4
10 ถึง 1000	10	9.141	0.2542	987.9714	1.5656×10^4	2.9708	1.3659×10^3	1.9338×10^4
1 ถึง 100	1	9.141	0.2097	233.1953	4.5625×10^3	1.1946	730.995	2.2224×10^4
0.1 ถึง 10	0.7	9.219	2.1596×10^{-4}	183.2592	2.5209×10^3	10.7371	674.8596	2.1368×10^4
0.02 ถึง 2	0.7	9.406	2.1596×10^{-4}	183.2592	2.5209×10^3	10.7371	674.8596	2.1368×10^4
0.01 ถึง 1	0.71	9.344	3.1211×10^{-4}	185.3646	2.6041×10^3	10.1261	674.8518	2.1301×10^4
0.0067 ถึง 0.6667	0.6667	9.375	5.6192×10^{-5}	176.1928	2.2591×10^3	12.7832	676.4022	2.1657×10^4

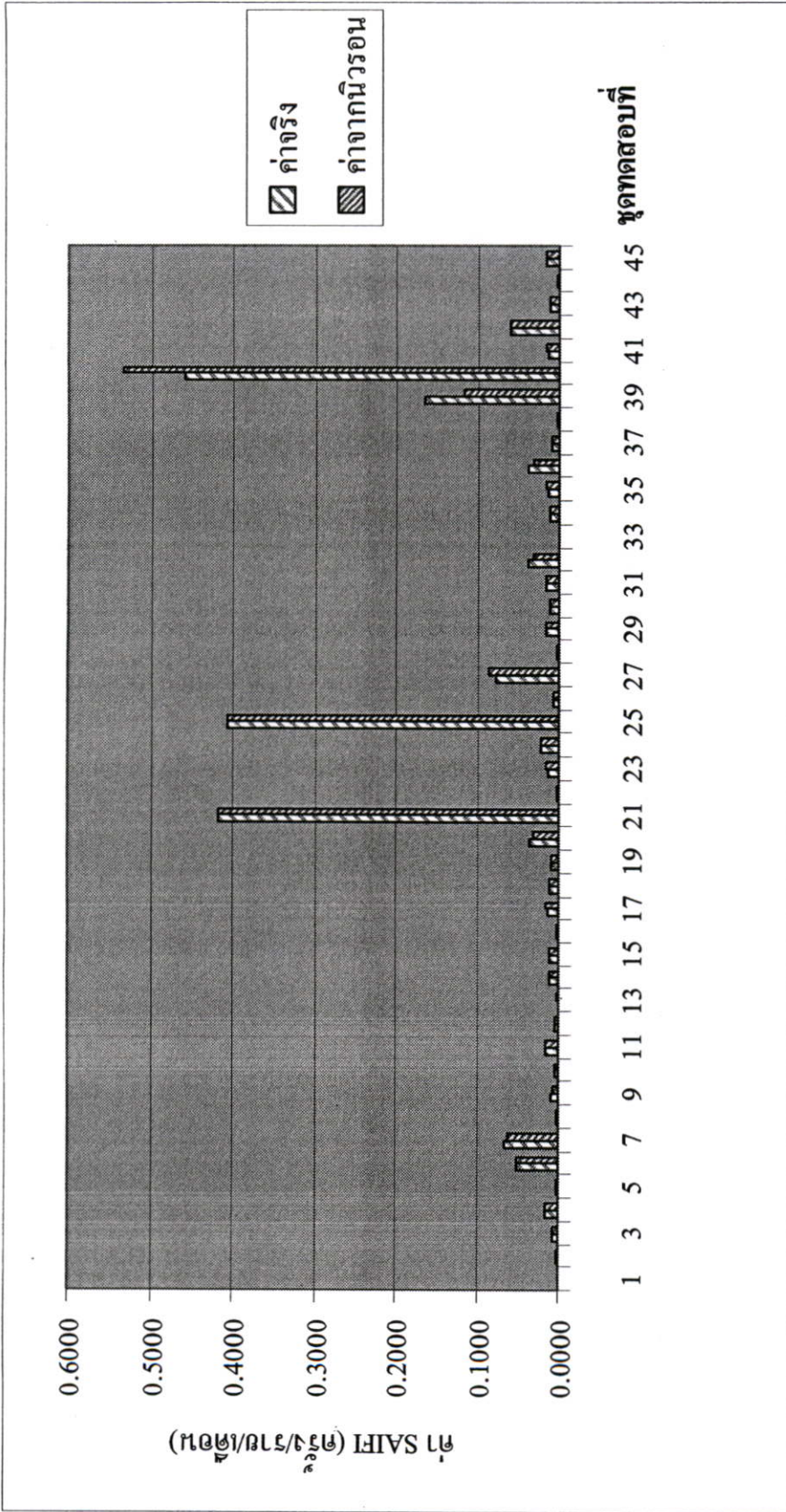


รูปที่ 5.16 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานี ไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง

5.6 ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN สำหรับคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยการปรับสมการ RBF ให้กราฟมีลักษณะเลื่อนซ้าย, ขวา

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยการปรับสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ ให้กราฟเลื่อนซ้าย, ขวา

สมการที่ใช้	ค่า spread ที่ใช้ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ใช้	ค่า spread ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
					min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
$e^{-(n^2+4n+4)}$	0.0111 ถึง 1.1111	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$e^{-(n^2+2n+1)}$	0.0111 ถึง 1.1111	0.0111	0.0111	8.985	0	2.5443	39.319	0	47.2107	1.6081×10^3
e^{-n^2}	0.0111 ถึง 1.1111	0.0111	0.0111	9.203	0	5.1293	86.3231	0	60.2287	1.9884×10^3
$e^{-(n^2-2n+1)}$	0.0111 ถึง 1.1111	0.0111	0.0111	9.75	0	12.6239	147.5437	0	86.5751	2.7369×10^3
$e^{-(n^2-4n+4)}$	0.0111 ถึง 1.1111	0.0111	0.0111	9.031	0	32.1598	307.7044	0	123.8068	3.6127×10^3

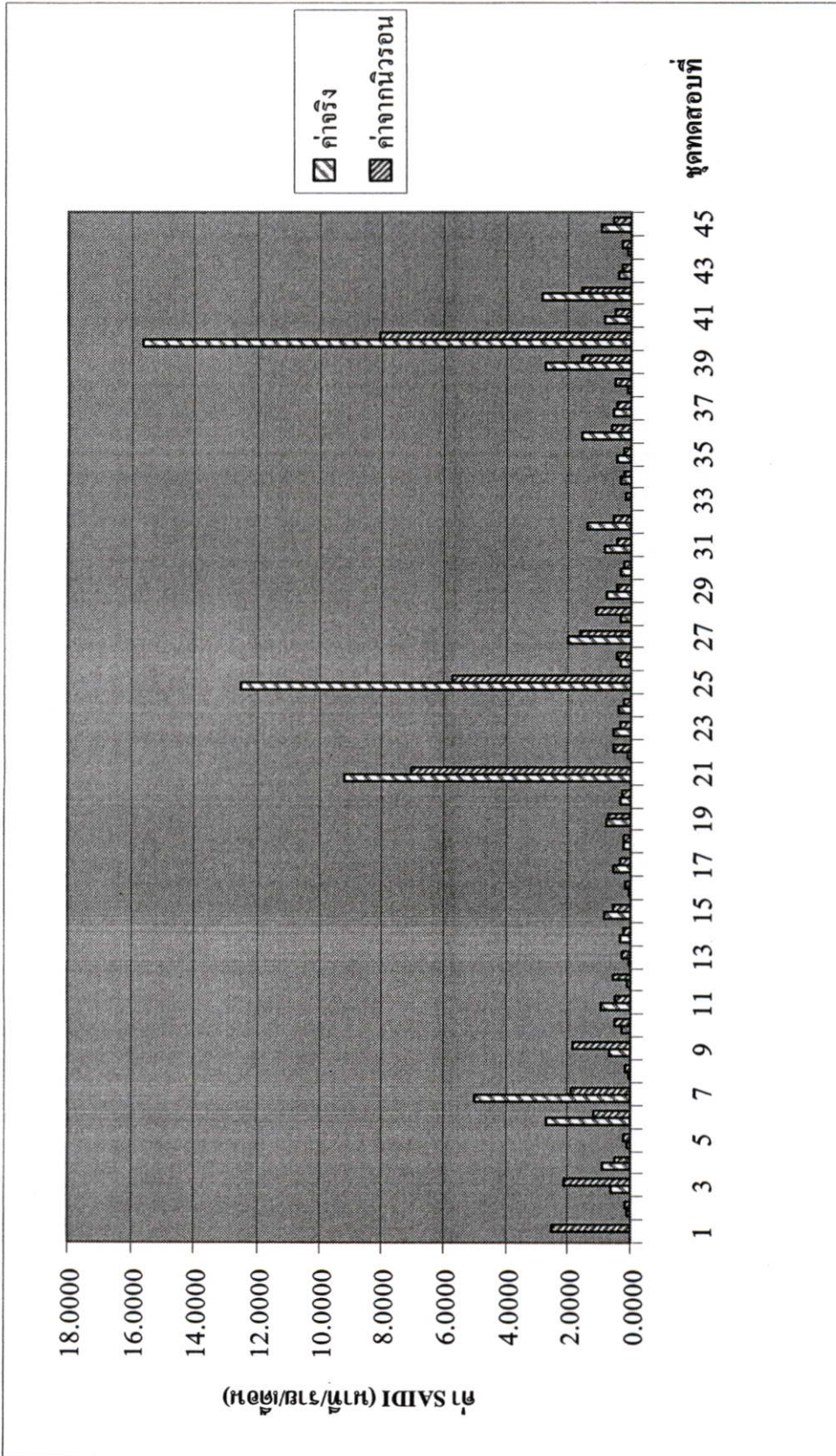


รูปที่ 5.17 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIPI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการ $a(n) = e^{-(n^2+2n+1)}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN ด้วยการปรับสมการ

$$\alpha(n) = e^{-n^2} \text{ ให้กราฟเลื่อนซ้าย, ขวา}$$

สมการ ที่ใช้	ค่า spread ที่ใช้ ในการทดสอบ	ค่า spread ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการ ฝึกสอน (วินาที)	ค่า absolute percentage error ของชุดฝึกสอน			ค่า absolute percentage error ของชุดทดสอบ		
				min(%)	mean(%)	max(%)	min(%)	mean(%)	max(%)
$e^{-(n^2+4n+4)}$	0.1 ถึง 10	0.8	8.828	9.5517×10^{-5}	109.9718	964.1332	4.7427	630.8881	2.1714×10^4
$e^{-(n^2+2n+1)}$	0.1 ถึง 10	0.6	8.968	3.6558×10^{-5}	127.5132	1.1606×10^3	0.4405	645.104	2.1806×10^4
e^{-n^2}	0.1 ถึง 10	0.5	9.109	2.81×10^{-4}	184.7565	2.5798×10^3	10.3027	674.8452	2.132×10^4
$e^{-(n^2-2n+1)}$	0.1 ถึง 10	0.1	8.860	0	95.2010	834.2388	1.1248	743.3527	2.7948×10^4
$e^{-(n^2-4n+4)}$	0.1 ถึง 10	0.1	8.984	0	200.2199	4.6113×10^4	1.3068	794.9243	2.7948×10^4



รูปที่ 5.18 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง ของ สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ด้วยสมการ $a(n) = e^{-(n^2+4n+4)}$ เปรียบเทียบกับค่าจริง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

6.1 ในการพิจารณาเลือกตัวแปรอินพุตที่มีผลต่อค่า SAIFI, SAIDI โดยใช้วิธี Correlation หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต โดยใช้ตัวอย่างข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พีดเคอร์ 2, พีดเคอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี และข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี จ.อุทัยธานี มาทำการพิจารณา จากผลการคำนวณค่า Correlation ในตารางที่ 4.2 จึงได้เลือก ตัวแปรอินพุตที่มีผลต่อค่าเอาต์พุต SAIFI(ครั้ง/ราย/เดือน) จำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่จำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน(ราย) และจำนวนครั้งที่ไฟดับ(ครั้ง/เดือน) และตัวแปรอินพุต ที่มีผลต่อค่าเอาต์พุต SAIDI(นาทิต/ราย/เดือน)จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกัน(ราย), จำนวนครั้งที่ไฟดับ(ครั้ง/เดือน) และระยะเวลารวมทั้งไฟดับ(นาทิต) ซึ่งจะใช้ตัวแปรอินพุตเหล่านี้ให้กับโครงข่ายประสาทเทียมในการคำนวณค่า SAIFI และ SAIDI ต่อไป

6.2 เมื่อนำข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตตามข้อ 6.1 มาทำการฝึกสอน,ทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ยกตัวอย่างข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของ พีดเคอร์ 2 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี จำนวน 35 ชุด , พีดเคอร์ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม จ.ลพบุรี จำนวน 31 ชุด โดยแบ่งจำนวนชุดฝึกสอนและทดสอบในอัตราส่วนร้อยละ 70 : 30 ตามลำดับ กำหนดให้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) 2 ชั้น จำนวนครั้งการสุ่มค่า weights และ biases เป็น 40 ครั้ง และจำนวนรอบ (iteration) ในการปรับค่า weights และ biases เป็น 1000 รอบ ทำการปรับ Transfer Function ที่ Hidden Layer ทั้งสอง และ กำหนด Transfer Function ที่ ชั้นเอาต์พุตเป็น Linear Transfer Function เมื่อทำการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแล้วพบว่า ค่า Mean absolute percentage error (mape) ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบในการคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูง พีดเคอร์ 2 และ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคมได้แก่ 0.0022% และ 4.0338×10^{-4} % ตามลำดับ และค่า mape ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบในการคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงพีดเคอร์ 2 และ 7 เป็น 0.2431% และ 2.7721% ตามลำดับ สาเหตุที่ค่า mape ของชุดทดสอบหาค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงพีดเคอร์ 7 มีค่าที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากมีข้อมูลชุดฝึกสอน 1 ชุดอยู่นอกเหนือขอบเขตการฝึกสอนดังแสดงในรูปที่ 4.11 และจำนวนชุดฝึกสอนอาจมีจำนวนน้อยไป

6.3 จากการสันนิษฐานในข้อ 6.2 ว่ามีจำนวนชุดฝึกสอนสำหรับคำนวณค่า SAIDI น้อยเกินไป จึงได้ยกตัวอย่างชุดข้อมูลที่ใหญ่ขึ้น คือข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี ที่มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 148 ชุด โดยแบ่งเป็นชุดฝึกสอน 103 ชุด และชุดทดสอบ 45 ชุด จากผลการทดลอง ค่า mape ที่ดีที่สุดของการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI เป็น 0.0034% และ 0.0621% ตามลำดับ ซึ่งผลการคำนวณค่า SAIDI ที่ได้ให้ ค่า mape เป็นที่น่าพอใจ

6.4 Transfer Function ที่ใช้ในชั้นซ่อนทั้งสอง และชั้นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมในการคำนวณค่า SAIFI ในระบบจำหน่ายแรงสูงฟีดเดอร์ 2 และ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม และ ทำให้ค่า mape มีค่าต่ำที่สุดนั้น คือ puerlin – tansig – purelin สำหรับ Transfer Function ที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมในการคำนวณค่า SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงฟีดเดอร์ 2 และ 7 สถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม และ ทำให้ค่า mape มีค่าต่ำที่สุดนั้น คือ logsig – puerlin – purelin และ Transfer Function ที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมในการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี คือ tansig – puerlin – purelin จากผลการทดลองที่ได้ Transfer Function ที่เหมาะสมสำหรับชั้นเอาต์พุต (Output layer) คือ Linear Transfer Function หรือ purelin สำหรับ Transfer Function ที่ชั้นซ่อนทั้งสองที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างในการจ่ายไฟ และข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนไม่เหมือนกัน

6.5 จากการทดลองปรับจำนวนชุดฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation สำหรับการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี แสดงลงในตารางที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ จากตารางจำนวนชุดฝึกสอนที่ทำให้ค่า mape ของชุดทดสอบค่า SAIFI มีค่าต่ำกว่า 1% คือ 30 ชุด และจำนวนชุดฝึกสอนที่ทำให้ค่า mape ของชุดทดสอบค่า SAIDI มีค่าต่ำกว่า 1% คือ 67 ชุด สาเหตุที่ต้องใช้ชุดฝึกสอนสำหรับคำนวณค่า SAIDI มากกว่า SAIFI เนื่องมาจากจำนวนอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับคำนวณค่า SAIDI มีมากกว่า SAIFI นั่นเอง

6.6 ทำการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม โดยเปลี่ยนโครงข่ายประสาทเทียมเป็นชนิด Generalized Regression สำหรับการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูงของสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี โดยแบ่งเป็นชุดฝึกสอน 103 ชุด และชุดทดสอบ 45 ชุด กำหนดให้จำนวนรอบของการฝึกสอน เป็น 100 รอบ ทำการปรับ *spread* เพื่อปรับค่า biases เมื่อทำการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแล้วพบว่า ค่า Mean absolute percentage error (mape) ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบในการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ในระบบจำหน่ายแรงสูง สถานีไฟฟ้าอุทัยธานี เป็น 60.2287% และ 674.8452% ตามลำดับ ซึ่งค่า mape ที่ได้มีค่าที่ค่อนข้างสูงมาก และทำการทดลองเพิ่มโดยการปรับเปลี่ยนสมการ Radial Basis Function ในชั้นซ่อน (Hidden Layer) ให้กราฟมีลักษณะอ้วนขึ้น, ผอมลง จากสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ เป็น $a(n) = e^{-0.5n^2}$, $a(n) = e^{-1.5n^2}$ และ

$a(n) = e^{-2n^2}$ ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ก็ยังไม่สามารถลดค่า mape ได้ ดังแสดงในตารางผลการทดลองที่ 5.9-5.16

6.7 ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยการปรับเปลี่ยนสมการ Radial Basis Function ในชั้นซ่อน (Hidden Layer) ให้กราฟมีลักษณะเลื่อนซ้าย, ขวา จากสมการ $a(n) = e^{-n^2}$ เป็น $a(n) = e^{-(n^2+4n+4)}$, $a(n) = e^{-(n^2+2n+1)}$, $a(n) = e^{-(n^2-2n+1)}$, $a(n) = e^{-(n^2-4n+4)}$ ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สามารถลดค่า mape ลงได้เล็กน้อย แต่ค่า error ยังคงสูงอยู่ และได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 5.17-5.18

6.8 จากผลการเปรียบเทียบโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองชนิด โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation จะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression ถึงแม้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Generalized Regression จะใช้เวลาในการฝึกสอนน้อยกว่ามากก็ตาม (ประมาณ 10 วินาที)

6.9 จากผลการทดลองพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation จะให้การคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ที่มีความแม่นยำและใช้เวลาในการฝึกสอนน้อย ซึ่งผลงานวิจัยนี้สามารถนำเอาข้อมูลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมนี้ไปเป็นข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณาในงานวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายหลังอุปกรณ์ป้องกัน ได้

6.10 การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI, SAIDI) ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งในบทความนี้ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Back Propagation สามารถคำนวณค่า SAIFI, SAIDI ได้อย่างแม่นยำและใช้เวลาในการฝึกสอนน้อย อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีสิ่งที่จะต้องศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคตได้อีก โดยสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในงานของการไฟฟ้าด้านอื่นๆ ได้เช่น การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย, การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้า, การจ่ายโหลดอย่างมีประสิทธิภาพ และอื่นๆ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบจำหน่าย, สายส่งของการไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการจ่ายไฟสูงสุด และสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้ในการวิจัยก็สามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดอื่นๆ เช่น Radial Basic Function Neural Network (RBF), Probabilistic Neural Network เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation และ ชนิด Generalized Regression ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] แผนกควบคุมการจ่ายไฟ กองแผนงานและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3(ภาคเหนือ) จ.ลพบุรี. 2546. **Reliability Program**.
- [2] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std 1366TM –2003. 14 May 2004. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [3] ตฤณ แสงสุวรรณ, รศ.ดร. 2546. การหาค่าความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังเบื้องต้น (**An Introduction of the Power Systems Reliability Evaluation**). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล. 2547. “การแปลงเวฟเล็ทและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์ ฟอลต์ในสายส่ง” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] พุฒิจจร บุญมี. 2547. “การหาค่าตำแหน่งของฟอลต์ในสถานีไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] H. Demuth and M. Beale. 2001. **Neural Network Toolbox, User’s Guide**. Version 3. The Math Works Inc.
- [7] S. Chen, C.F.N. Cowan and P.M. Grant. 1991. “Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basic Function Networks” **IEEE Trans. Neural Network**. Pp.302-309.
- [8] กัลยา วานิชย์บัญชา, ดร. 2546. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [9] C. Pothisarn and S. Jiriwibhakorn. 2003. “Critical Clearing Time Determination of EGAT System Using Artificial Neural Networks” **IEEE Power Engineering Society General Meeting**. 13-17 July. Pp.731-735
- [10] แผนกควบคุมการจ่ายไฟ กองแผนงานและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3(ภาคเหนือ) จ.ลพบุรี. 2546. **ซิงเกิ้ลไลนไคอะแกรมสถานีไฟฟ้าพัฒนานิคม**
- [11] แผนกควบคุมการจ่ายไฟ กองแผนงานและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3(ภาคเหนือ) จ.ลพบุรี. 2546. **ซิงเกิ้ลไลนไคอะแกรมสถานีไฟฟ้าอุทัยธานี**
- [12] J.-L. Chen and S.-H.Chang. 1992. “A Neural Network Approach to Evaluate Distribution System Reliability” **IEEE International Conference on Systems Engineering**. 17-19 Sept. Pp.487-490.

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

EPS 2005

Certificate of Participation

This is to certify that *K. Kaewmanee*
attended the IASTED International Conference on
Energy and Power Systems,
held *April 18-20, 2005*, in
Krabi, Thailand,
and presented the following paper:

Paper Number: 465-060

Entitled: PEA Distribution Reliability (SAIFI,
SAIDI) Determination using Artificial
Neural Networks





IASTED Secretariat

April 20, 2005
Date

PEA DISTRIBUTION RELIABILITY (SAIFI, SAIDI) DETERMINATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Mr. Keattisak Kaewmanee, Assist.Prof.Dr. Somchat Jiriwibhakorn
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand, 10520

Email : k_kaewmanee@yahoo.com, kjsomcha@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper purposes the methodology of SAIFI and SAIDI determination of Provincial Electricity Authority (PEA) distribution network in Thailand using Artificial Neural Networks (ANNs). Data used in this study was obtained from the Reliability Program[1]. The data of feeders 2 and 7 of Patthana-nikhom substation was used as the examples in this research from January to July 2004. The three inputs of ANNs for reliability indices (SAIFI, SAIDI) consist of the number of customers behind the protective equipment, interruption frequency of protective equipment per month and total time interruption per month.

Referring to the results obtained after inputting ANNs and SAIFI to be trained in neural networks, the mean absolute percentage error (mape) of feeders 2 and 7 are 0.0042%, 0.0017% respectively, while inputting SAIDI into the network, the mean absolute percentage error (mape) of feeders 2 and 7 are 0.6193%, 3.2942% respectively.

KEY WORDS

System average interruption frequency index (SAIFI), System average interruption duration index (SAIDI), Artificial neural networks (ANNs)

1. Introduction

The protective equipment in PEA distribution system consist of circuit breakers, reclosers and drop out fuses. The causes of the electric failure compose of lightning, raining, strong wind, animals, broken trees, etc. Therefore, the maintenance for the protective equipment must be prioritized. This is to ensure that PEA preventive maintenance planning is efficient and effective. The important reliability indexes of PEA are SAIFI and SAIDI. These indices involve the maintenance planning in the distribution systems. The number of customers behind the protective equipment, interruption frequency of the protective equipment/month and total time interruption /month are used as the three inputs for calculating SAIFI and SAIDI values in PEA distribution systems using ANNs.

2. Data and Calculation of SAIFI and SAIDI

The data of the protective equipment's operation was obtained from the Reliability Program. It was used for

SAIFI and SAIDI calculations. For examples in this paper used the data of feeders 2 and 7 from Patthana-nikhom substation in the period of January 2004 to July 2004.

The equations of SAIFI and SAIDI [2,3,4] are defined as following formulas:

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= \text{System average interrupt frequency index} \\ &= \frac{\sum \text{Total number of Customers Interrupted } d}{\text{Total Number of Customers Served}} \\ &= \frac{\sum N_i}{N_T} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{SAIDI} &= \text{System average interrupt duration index} \\ &= \frac{\sum \text{Customer interruption Durations}}{\text{Total Number of Customers Served}} \\ &= \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \end{aligned} \quad (2)$$

r_i = Restoration time for each interruption event

N_i = Number of interrupted customers for each sustained interruption event during the reporting period

N_T = Total number of customers served for the areas

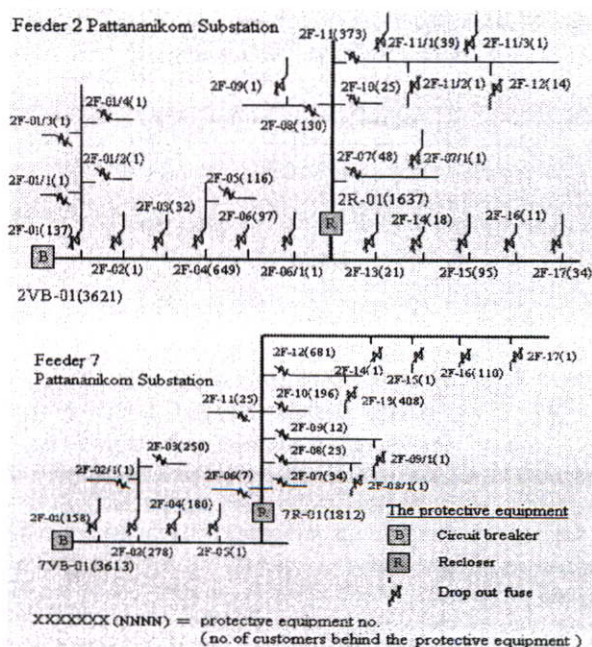


Fig.1 Test Distribution System of Patthana-nikhom Substation (Feeders 2 and 7 respectively)[5]

training. The ANNs process used a personal computer with Pentium 4, 2.4 GHz, and DDR 256 MB.

No. of traing patterns	No. of customers	Interruption frequency (times)	Total time of interruption (minutes)	SAIDI (minutes/ customer/ month)
Training patterns				
1	137	4	150	1.26961572
2	130	1	40	0.32126529
3	25	1	30	0.04633634
4	373	3	110	2.53490671
5	14	2	105	0.09081923
6	373	1	60	1.38267639
7	14	1	60	0.0518967
8	137	2	160	1.35425677
9	116	1	60	0.43000124
10	130	1	60	0.48189794
11	373	2	140	3.2262449
12	95	1	60	0.35215618
13	34	1	90	0.18905227
14	137	1	120	1.01569257
15	32	1	101	0.19967873
16	97	1	120	0.71914
17	1	1	60	0.00370691
18	1	2	120	0.00741381
19	130	1	60	0.48189794
20	25	1	60	0.09267268
21	373	1	60	1.38267639
22	40	1	30	0.07413814
23	21	2	120	0.1556901
24	137	1	90	0.76176943
Testing patterns				
1	649	1	60	2.40578278
2	373	1	75	1.72834548
3	14	1	90	0.07784505
4	21	1	50	0.06487088
5	95	2	140	0.82169776
6	34	1	60	0.12603484
7	137	1	60	0.50784629
8	95	1	60	0.35215618
9	649	1	35	1.40337329
10	116	1	60	0.43000124
11	14	1	50	0.04324725

Table1: Twenty Four Training Patterns and Eleven Testing Patterns of Feeder 2 for SAIDI Calculation

Figure 4 shows the training and testing processes flowchart of ANNs for the SAIFI and SAIDI study.

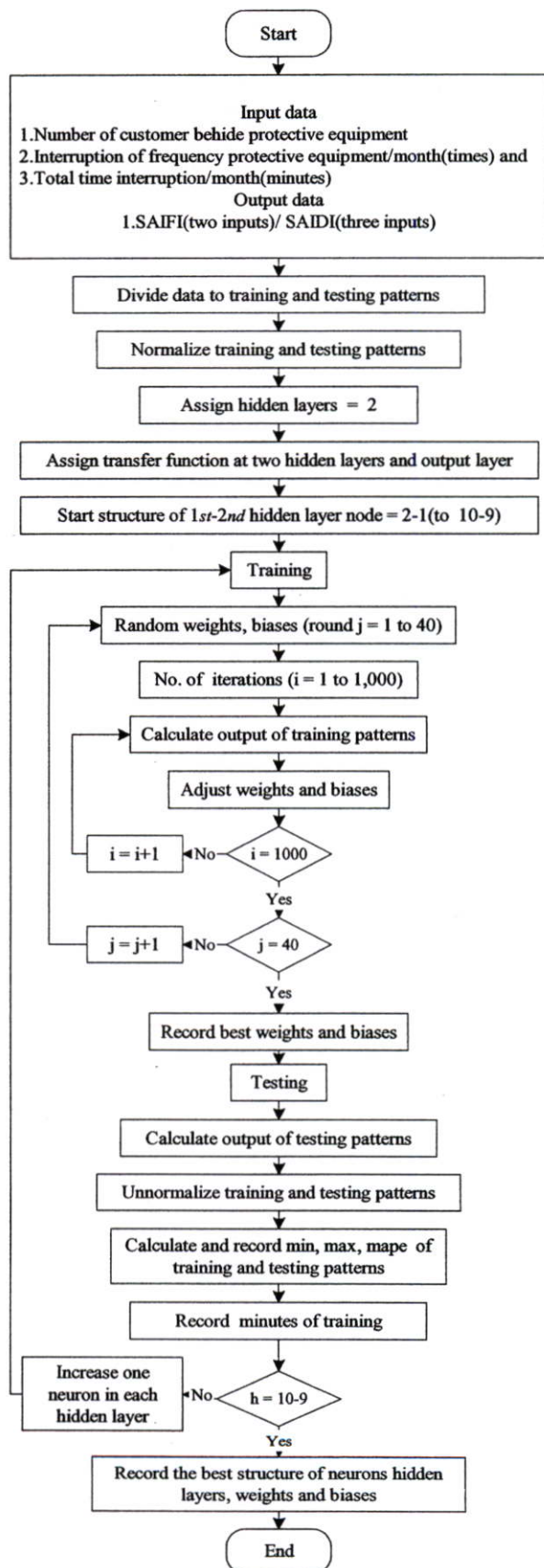


Fig.4 A Flowchart Diagram for SAIFI/SAIDI Calculation

5. Testing Results

The training and testing results of feeders 2 and 7 for SAIFI study by ANNs are summarized as presented in tables 2 and 3, and tables 4 and 5 respectively.

Figure 5 shows the testing outputs between ANNs and the target of feeders 2 and 7 for SAIFI predictions.

No. of neurons in 1st – 2nd hidden layers =2-1 to 10-9

Transfer function		logsig logsig purelin	logsig tansig purelin	tansig logsig purelin	tansig tansig purelin	
Best neurons in 1 st : 2 nd hidden layers		4-3	5-4	3-2	3-2	
Time of training (minutes)		5.0508	5.9447	4.3591	4.6196	
% error of SAIFI(feeder2)	24 training patterns	min error(%)	2.5546x10 ⁻⁷	5.0360x10 ⁻⁸	1.8486x10 ⁻⁶	3.1654x10 ⁻⁵
		max error(%)	0.3877	0.0251	0.4654	0.0620
		mape(%)	0.0217	0.0013	0.0289	0.0070
	11 testing patterns	min error(%)	8.4529x10 ⁻⁷	1.5565x10 ⁻⁷	1.5565x10 ⁻⁵	2.8325x10 ⁻⁴
		max error(%)	0.0434	0.0377	0.1695	0.0295
		mape(%)	0.0118	0.0042	0.0180	0.0079

Table 2: ANNs Results of SAIFI (feeder 2)

Transfer functions = logsig-tansig-purelin
Neurons in 1st – 2nd hidden layers = 5-4

Testing patterns no.	1	2	3	4	5	6
SAIFI(feeder 2)	0.0401	0.0230	0.0009	0.0013	0.0117	0.0021
Output from ANNs	0.0401	0.0230	0.0009	0.0013	0.0117	0.0021
% error	0.0012	0.0000	0.0020	0.0012	0.0377	0.0003
Testing patterns no.	7	8	9	10	11	
SAIFI(feeder 2)	0.0085	0.0059	0.0401	0.0072	0.0009	
Output from ANNs	0.0085	0.0059	0.0401	0.0072	0.0009	
% error	0.0002	0.0002	0.0012	0.0003	0.002	

Table 3: The Comparison of SAIFI (Feeder 2) between the Calculation and ANNs Results of the Testing Patterns

No. of neurons in 1st – 2nd hidden layers =2-1 to 10-9

Transfer function		logsig logsig purelin	logsig tansig purelin	tansig logsig purelin	tansig tansig purelin	
Best neurons in 1 st : 2 nd hidden layers		5-4	6-5	3-2	4-3	
Time of training (minutes)		7.9456	6.0689	7.7688	5.4139	
% error of SAIFI(feeder7)	21 training patterns	min error(%)	7.7182x10 ⁻⁷	4.6546x10 ⁻⁷	1.0087x10 ⁻⁵	1.088x10 ⁻⁸
		max error(%)	1.1363	0.0102	3.2197	0.0090
		mape(%)	0.0568	0.0013	0.1699	5.2123x10 ⁻⁴
	10 testing patterns	min error(%)	1.2233x10 ⁻⁶	3.0835x10 ⁻⁶	2.7746x10 ⁻⁵	8.3822x10 ⁻⁸
		max error(%)	1.1363	7.5846	3.2197	0.0090
		mape(%)	0.1215	0.7946	0.3738	0.0017

Table 4: ANNs Results of SAIFI (Feeder 7)

Transfer functions = logsig-tansig-purelin
Neurons in 1st – 2nd hidden layers = 4-3

Testing patterns no.	1	2	3	4	5
SAIFI(feeder 7)	0.0084	0.0421	0.0068	0.1119	0.0098
Output from ANNs	0.0084	0.0421	0.0068	0.1119	0.0098
% error	0.0003	0.0000	0.0007	0.0000	0.0002
Testing patterns no.	6	7	8	9	10
SAIFI(feeder 7)	0.0172	0.0111	0.0014	0.0252	0.0001
Output from ANNs	0.0172	0.0111	0.0014	0.0252	0.0001
% error	0.0004	0.0002	0.0006	0.0000	0.0090

Table 5: The Comparison of SAIFI (Feeder 7) between the Calculation and ANNs Results of the Testing Patterns

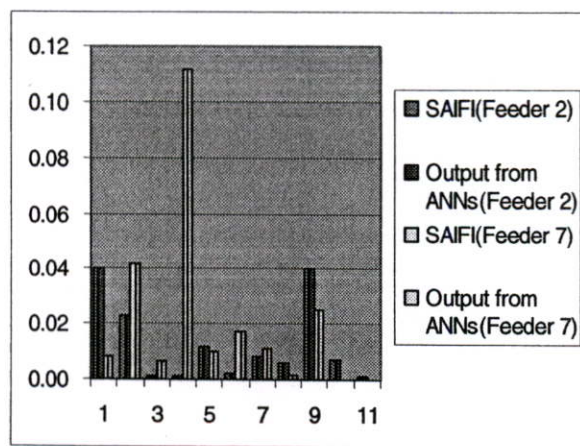


Fig.5: The Comparison of SAIFI between the Calculation and ANNs Results of the Testing Patterns

Tables 6 and 7 show the results of feeder 2 for SAIDI study by ANNs, while tables 8 and 9 show the results of feeder 7. Figure 6 presents the testing outputs using ANNs and Reliability Program of feeders 2 and 7 in SAIDI calculations.

No. of neurons in 1st – 2nd hidden layers =2-1 to 10-9

Transfer function		logsig logsig purelin	logsig tansig purelin	tansig logsig purelin	tansig tansig purelin
Best neurons in 1 st : 2 nd hidden layers		3-2	3-2	3-2	3-2
Time of training (minutes)		4.4354	8.1995	4.7333	4.9069
% error of SAIDI (feeder2)	24 training patterns	min error(%)	1.3869x10 ⁻⁴	7.6248x10 ⁻⁴	0.0066
		max error(%)	4.6489	2.7225	12.6432
		mape(%)	0.6412	0.2329	0.9036
	11 testing patterns	min error(%)	0.0554	0.0046	0.0238
		max error(%)	2.3549	2.3909	3.4398
		mape(%)	0.9561	0.6193	1.0884

Table 6: ANNs Results of SAIDI (Feeder 2)

Transfer functions = logsig-tansig-purelin
Neurons in 1st – 2nd hidden layers = 3-2

Testing patterns no.	1	2	3	4	5	6
SAIDI(feeder 2)	2.4058	1.7283	0.0778	0.0649	0.8217	0.1260
Output from ANNs	2.4114	1.7260	0.0766	0.0659	0.8182	0.1262
% error	0.2326	0.1354	1.5834	1.6456	0.4200	0.1329
Testing patterns no.	7	8	9	10	11	
SAIDI(feeder 2)	0.5078	0.3522	1.4034	0.4300	0.0432	
Output from ANNs	0.5077	0.3522	1.4004	0.4300	0.0442	
% error	0.0274	0.0252	0.2141	0.0046	2.3909	

Table 7: The Comparison of SAIDI (Feeder 2) between the Calculation and ANNs Results of the Testing Patterns

No. of neurons in 1st – 2nd hidden layers =2-1 to 10-9

Transfer function		logsig logsig purelin	logsig tansig purelin	tansig logsig purelin	tansig tansig purelin
Best neurons in 1 st : 2 nd hidden layers		4-3	5-4	7-6	7-6
Time of training (minutes)		4.5632	6.2066	3.8444	3.0534
% error of SAIDI(feeder7)	21 Training patterns	min error(%)	3.3775x10 ⁻⁴	1.0402x10 ⁻⁵	0
		max error(%)	128.3118	481.3912	2.7261x10 ⁻¹¹
		mape(%)	6.3832	26.8532	1.5495x10 ⁻¹⁰
	10 Test patterns	min error(%)	0.0064	0.0286	1.7592x10 ⁻⁴
		max error(%)	11.0898	12.5309	46.1669
		mape(%)	3.2942	4.0377	9.5478

Table 8: ANNs Results of SAIDI (Feeder 7)

Transfer functions = logsig-logsig-purelin
Neurons in 1st – 2nd hidden layers = 4-3

Testing patterns no.	1	2	3	4	5
SAIDI(Feeder 7)	0.8297	2.5244	0.2039	7.8364	0.2928
Output from ANNs	0.8350	2.5242	0.1983	7.8916	0.2881
% error	0.6293	0.0064	2.7306	0.7049	1.6314
Testing patterns no.	6	7	8	9	10
SAIDI(Feeder 7)	0.5153	0.3336	0.0426	2.5207	0.0037
Output from ANNs	0.5276	0.3305	0.0463	2.8002	0.0036
% error	2.3895	0.9306	8.7145	11.0898	4.1153

Table 9: The Comparison of SAIDI (Feeder 7) between the Calculation and ANNs Results of the Testing Patterns

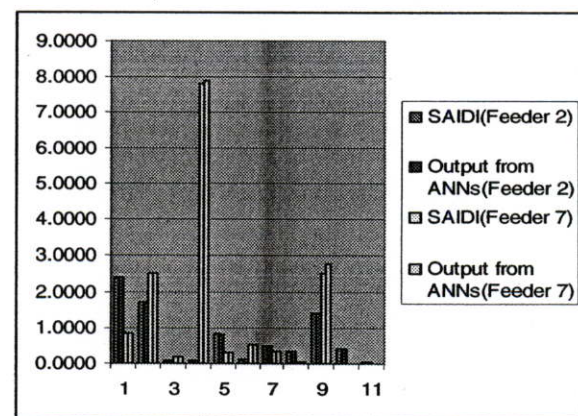


Fig.6: The Comparison of SAIDI between the Calculation and ANNs Results of the Testing patterns

6. Conclusions

The results of ANNs in calculating SAIFI and SAIDI of the protective equipment in feeders 2 and 7 have different structures of the neurons in hidden layers and transfer functions used. The mean absolute percentage error (mape) of SAIFI of feeders 2 and 7 are 0.0042% and 0.0017% respectively, and SAIDI mean absolute percentage error (mape) of feeders 2 and 7 are 0.6193% and 3.2942% respectively. The methodology of determination of SAIFI and SAIDI in PEA distribution networks using Artificial Neural Networks (ANNs) could be useful for PEA distribution system maintenance planning in the future.

References

- [1] Provincial Electricity Authority (PEA) of Thailand, Reliability Program, Lopburi Province, 2003
- [2] J.-L. Chen, S.-H.Chang, A Neural Network Approach to Evaluate Distribution System Reliability, *Systems Engineering, 1992.,IEEE International Conference on* , 17-19 Sept. 1992, 487-490
- [3] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std 1366TM – 2003, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 14 May 2004
- [4] T. Sangsuwan, An Introduction of the Power Systems Reliability Evaluation, Kasetsart, 2003
- [5] Provincial Electricity Authority (PEA) of Thailand, Single line diagram of Patthana-nikhom substation, Lopburi Province, 2003
- [6] Neural Network Toolbox, User's Guide Version 3, The Math Works Inc., January 1998
- [7] C. Pothisarn, S. Jiriwibhakorn, Critical Clearing Time Determination of EGAT System Using Artificial Neural Networks, *Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE*, 13-17 July 2003, 731-735 Vol.2

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเกียรติศักดิ์ แก้วมณี
วัน เดือน ปีเกิด	10 มกราคม 2519 ที่จังหวัดชลบุรี
ที่อยู่	17 ม.2 ต.ห้วยกะปิ อ.เมือง จ.ชลบุรี 20000 โทร 0-3879-6688
ประวัติการศึกษา	2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับ 2) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2548	บทความเรื่อง “PEA DISTRIBUTION RELIABILITY (SAIFI, SAIDI) DETERMINATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS” ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุม The IASTED International Conference on Energy and Power Systems เลขที่บทความ 465-060
ปัจจุบัน	วิศวกร 5 แผนกบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าและงานฮอทไลน์ กองวิศวกรรมและ บำรุงรักษา ฝ่ายบริการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 (ภาคเหนือ) จ.ลพบุรี