ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

Fault Location Analysis in the Power System Using the Artificial Neural Network

โดย

นายเถลิง วัฒนะมงคล

นายฉันทกร จำศิลป์

วัน เดือน ปี 30 ก.ย. 2541
เลขทะเบียน C38214
เลขเรียกหนังสือ T 39230 ถ.ร.ค

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

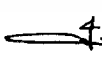
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ผู้จัดทำ

1. นายเฉลิง วัฒนะมงคล
2. นายฉันทกร จำศิลป์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

นายเฉลิง วัฒนะมงคล
นายนันทกร จำศิลป์
ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ในระบบไฟฟ้ากำลัง , เมื่อมีเหตุการณ์ในภาวะผิดปกติซึ่งไม่อาจจะหลีกเลี่ยงได้ เกิดขึ้นในระบบ. สัญญาณบอกเหตุจากสถานะภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรในระบบ จะถูกจัดส่งไปยังระบบคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงแนวคิดของโครงข่ายประสาทเทียมที่ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณบอกเหตุและตีความถึงตำแหน่งของสภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง. โครงข่ายประสาทเทียมจะให้ผลลัพธ์ที่มีความรวดเร็วมากกว่า และมีการตัดสินใจที่คล้ายคลึงกับมนุษย์มาก เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของโครงข่าย.

ผลของตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง จะถูกตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้การเขียนโปรแกรม ' MATLAB ' ที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในการจำลองตำแหน่งและชนิดของความผิดปกติที่แตกต่างกัน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Location Analysis in the Power System Using the Artificial Neural Network

Thaleung Wattanamongkol

Chantakorn Chamsilp

Asst. Prof. Siriwat Potivejkul Advisor

1996

Abstract

In the power system , when it has abnormal inevitable incidents. The arrival of alarm messages with status of the associated switching equipment are provided to the computerized control system at the control center.

This thesis proposes the applied Artificial Neural Network to analyze the alarm messages and interpret the fault location in the power system. It offers the better rapid solution and the similar human decisions due to its private properties.

The result fault location has been verified using the 'MATLAB' personal computer program simulation of the differential locations and types of faults.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

Abstract II

สารบัญรูป III

สารบัญตาราง X

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 โครงข่ายเซลล์ประสาท ในทางชีววิทยา 4

2.1 รูปร่างของเซลล์ประสาท 4

2.2 ชนิดของเซลล์ประสาท 7

2.3 ชนิดของเส้นประสาท 9

2.4 คุณสมบัติของเซลล์ประสาท 9

2.5 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในสภาวะปกติของเซลล์ประสาท 9

2.6 แอคชั่นโพเทนเชียล (Action Potential) 10

2.7 ธเรชโฮลด์ (Threshold) และกฎของ All - or - None 14

2.8 การเคลื่อนที่ของเซลล์ประสาท 15

2.9 การส่งกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท 19

2.9.1 ลักษณะโครงสร้างของบริเวณที่มีการไซแนปส์ 19

2.9.2 การเปลี่ยนแปลงความต่างศักดิ์ไฟฟ้าที่ไซแนปส์ 21

บทที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียม 24

3.1 แนวคิดเริ่มต้น 24

3.2 โครงข่ายประสาทเทียม 25

3.3 การเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียม 29

3.4 การเรียนรู้ในลักษณะที่มีผู้สอน (Supervised Learning) 30

3.5 การเรียนรู้ในลักษณะที่ไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) 31

3.6 การเรียนรู้ในลักษณะถูกกระตุ้น (Reinforced Learning) 31

3.7 การเรียนรู้ในลักษณะที่มีการแข่งขันกัน (Competitive Learning) 32

3.8 กฎของเดลต้า (Delta Rule) 32

3.9 กฎของกราเดียนดีเซนต์ (Gradient Descent Rule) 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.10 คุณลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม 33

3.11 พารามิเตอร์ของโครงข่ายที่สำคัญ 34

3.12 แบบและลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม 35

บทที่ 4. การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม I 36

4.1 การเรียนรู้พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมและการโปรแกรม 36

4.2 ความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของโครงข่ายประสาทเทียม 37

4.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งแยกได้อย่างเชิงเส้น 37

4.4 โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งแยกได้อย่างเชิงเส้นหลายตัว 40

4.5 โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งแยกได้อย่างไม่เป็นเชิงเส้น 41

บทที่ 5. การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม II 42

5.1 แบบจำลองของ McCulloch - Pitts 42

5.2 เปอร์เซปตรอน (Perceptron) 43

5.3 เปอร์เซปตรอน แบบหลายชั้น 45

5.4 ขบวนการเรียนรู้แบบเดลต้า 47

5.5 โมเดลของ ADALINE และ MADALINE 48

5.5.1 ADALINE 48

5.5.2 MADALINE 50

5.6 Winner - Takes - All Learning Algorithm 51

5.7 อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ 52

5.8 การเรียนรู้โดยใช้การแพร่ค่าย้อนกลับ 53

5.9 การวิเคราะห์ในทางคณิตศาสตร์ 54

5.10 การเตรียมข้อมูลเริ่มต้นก่อนการประยุกต์ใช้งาน 58

5.11 การวิจารณ์อัลกอริทึมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ 60

5.12 เทอมที่ใช้ในการเร่งการเรียนรู้ของโครงข่าย 61

บทที่ 6. การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมประยุกต์ 62

6.1 ระบบไฟฟ้ากำลังต้นแบบและข้อจำกัดของวงจร 62

6.2 หลักการและการออกแบบระบบเปรียบเทียบในระบบตัวอย่าง 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

6.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 64

6.2.2 การป้องกันบัสบาร์ 65

6.2.3 การป้องกันสายส่ง 65

6.3 การจัดเตรียมข้อมูลในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม 66

6.3.1 การจัดเตรียมโครงข่ายประสาทเทียม 66

6.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่าย 68

6.3.3 ค่าน้ำหนักไซแนปส์เริ่มต้นของโครงข่าย 70

บทที่ 7 ผลการวิเคราะห์โครงข่าย 72

7.1 ผลจากการฝึกหัดโครงข่าย 72

7.2 ผลการตอบสนองของโครงข่ายต่อข้อมูลที่ไม่เคยเห็น 108

7.2.1 กรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังเพียงตำแหน่งเดียว 108

7.2.1.1 กรณีที่มีการขาดหายไปของสถานะของอุปกรณ์ป้องกันเพียงตัวเดียว 108

7.2.1.2 กรณีที่มีการขาดหายไปของสถานะของอุปกรณ์ป้องกันตั้งแต่สองตัวขึ้นไป 109

7.2.2 ผลตอบสนองของโครงข่ายในกรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังสองตำแหน่งในเวลาเดียวกัน 141

7.3 ผลของการเรียนรู้ของโครงข่ายเมื่อเทียบกับช่วงของน้ำหนักไซแนปส์เริ่มต้น 142

7.4 ผลตอบสนองของโครงข่ายต่อข้อมูลรูปแบบการฝึกหัดที่ไม่มีความสำคัญ 142

7.5 เวลาในการตอบสนองของโครงข่ายต่อข้อมูลกระตุ้นอินพุท 142

7.6 ผลตอบสนองของโครงข่ายต่อค่าความผิดพลาดในการเรียนรู้ที่ไม่เท่ากัน 143

7.7 ความสามารถในการบอกรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาด 143

บทที่8 บทวิจารณ์และสรุป 166

ภาคผนวก ก. พื้นฐานทฤษฎีการเดียนเดสเซนต์ 168

ภาคผนวก ข รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างและทดสอบ 170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

กิตติกรรมประกาศ 183

บรรณานุกรม 184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ประสาท	5
รูปที่ 2-2 แสดงส่วนต่างๆ ของเซลล์ประสาท	6
รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของเซลล์ประสาท และเส้นประสาทตา	7
รูปที่ 2-4 ชนิดของเซลล์ประสาท	8
รูปที่ 2-5 แสดงประจุในใยประสาทขณะพัก	11
รูปที่ 2-6 แอคชั่นโพเทนเชียลของเซลล์ประสาท	12
รูปที่ 2-7 การเกิดแอคชั่นโพเทนเชียล	12
รูปที่ 2-8 แสดงการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทตลอดใยประสาท	13
รูปที่ 2-9 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนประจุโดยใช้ EEG วัดประจุ	14
รูปที่ 2-10 การเคลื่อนที่ของเซลล์ประสาทในเส้นประสาททั้งสองแบบ	16
รูปที่ 2-11 แสดงการเปลี่ยนแปลงประจุ เมื่อเกิดการกระตุ้นของกระแสประสาท (Impulse)	17
รูปที่ 2-12 แสดงการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทผ่านใยประสาทที่มีเยื่อหุ้ม	18
รูปที่ 2-13 กระแสประสาทซึ่งเกิดการเคลื่อนที่ในใยประสาทชนิดไม่มีเยื่อหุ้ม	18
รูปที่ 2-14 ลักษณะโครงสร้างของไซแนปส์	19
รูปที่ 2-15 แผนภาพแสดงการไซแนปส์ของตัวเซลล์กับเดนไดรท์	20
รูปที่ 2-16 แสดงการเชื่อมต่อของใยประสาท (Synapse) โดยหลั่งอะซิติลโคลีนออกมาในช่วงที่ไซแนปส์ เมื่อมีกระแสประสาทผ่าน	22
รูปที่ 2-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังจากส่งสารนิวโรฮิวเมอร์	23
รูปที่ 3-1 แสดงแบบจำลองของเซลล์ประสาทพื้นฐาน	27
รูปที่ 3-2 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับเซลล์ประสาทในทางชีวะวิทยา	27
รูปที่ 3-3 รูปแสดงการทำงานของนิวรอน	27
รูปที่ 3-4 แสดงชนิดของฟังก์ชันกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้น	28
รูปที่ 3-5 แสดงการลาดลงของค่าความผิดพลาดไปสู่ตำแหน่งที่ต่ำที่สุด	33
รูปที่ 3-6 แสดงตัวอย่างต้นแบบของโครงข่ายประสาทเทียม	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4-1 แสดงความสามารถในการแบ่งแยกกลุ่มรูปแบบอินพุททั้งสี่อย่างเป็นเชิงเส้น 38

รูปที่ 4-2 แสดงความสามารถในการแบ่งแยกกลุ่มรูปแบบอินพุททั้งสี่อย่างเป็นเชิงเส้น โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งแยกได้อย่างเชิงเส้นหลายตัว 40

รูปที่ 4-3 แสดงการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ไขปัญหา Exclusive-OR. 40

รูปที่ 4-4 แสดงการแบ่งแยกหมวดหมู่ของปัญหาที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งแยกได้ไม่เป็นเชิงเส้น 41

รูปที่ 4-5 แสดงการแบ่งกลุ่มปัญหาที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นจากระบบที่มีเปอร์เซปตรอน 1 ตัว 41

รูปที่ 5-1 แสดงแบบของจำลองของนิวรอนเทียม 43

รูปที่ 5-2 แสดงแบบจำลองเปอร์เซปตรอน 1 ตัว 44

รูปที่ 5-3 แสดงเปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น 46

รูปที่ 5-4 แสดงฟังก์ชั่นซิกมอยด์ ที่มีค่า (Gain) ที่ต่างกัน 47

รูปที่ 5-5 แสดงโมเดลของ ADALINE และผู้สอน 49

รูปที่ 5-6 รูปแสดง MADALINE ที่ประกอบด้วย ADALINE 2 ตัว 50

รูปที่ 5-7 แสดงการเรียนรู้ที่มีลักษณะการแข่งขันกัน 52

รูปที่ 5-8 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่มีนิวรอนเชื่อมโยงกันแบบหลายชั้น 52

รูปที่ 5-9 ขั้นตอนการเรียนรู้ด้วยการแพร่ค่าย้อยกลับที่โหนด 55

รูปที่ 5-10 แสดงขั้นตอนของขบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ 59

รูปที่ 6-1 แสดงวันไลน์ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากำลังต้นแบบ 62

รูปที่ 6-2 แสดงการไหลของกระแสจากส่วนต่างๆ ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ บัสบาร์ F 63

รูปที่ 6-3 แสดงการป้องกันระบบเบื้องต้น 65

รูปที่ 6-4 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ 67

รูปที่ 6-5 แสดงฮีสโตแกรมของการสุ่มตัวเลข 1 ครั้ง โดยการสุ่ม 5,000 จำนวน 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 7-1 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมายเทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองในรอบแรกของการฝึกหัด 74

รูปที่ 7-2 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมายเทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองในรอบของการฝึกหัดผ่านไป 30 รอบ 75

รูปที่ 7-3 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมายเทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองในรอบของการฝึกหัดผ่านไป 60 รอบ 76

รูปที่ 7-4 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมายเทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองในรอบของการฝึกหัดผ่านไป 90 รอบ 77

รูปที่ 7-5 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมายเทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองในรอบของการฝึกหัดผ่านไป 120 รอบ 78

รูปที่ 7-6 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมายเทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองในรอบสุดท้ายของการฝึกหัด 79

รูปที่ 7-7 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.2$ และ $\alpha = 0$ 80

รูปที่ 7-8 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.4$ และ $\alpha = 0$ 80

รูปที่ 7-9 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.6$ และ $\alpha = 0$ 81

รูปที่ 7-10 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0$ 81

รูปที่ 7-11 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8(x), 0.6(*), 0.4(+), 0.2(o)$ และ $\alpha = 0.0$ 82

รูปที่ 7-12 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่าย A 82

รูปที่ 7-13 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$ 83

รูปที่ 7-14 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.4$ 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 7-15 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.6$ 84

รูปที่ 7-16 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2(o), 0.4(+), 0.6(*)$ 84

รูปที่ 7-17 แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ A 85

รูปที่ 7-18 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -0.5 ถึง 0.5 85

รูปที่ 7-19 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -1 ถึง 1 86

รูปที่ 7-20 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -2 ถึง 2 86

รูปที่ 7-21 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -3 ถึง 3 87

รูปที่ 7-22 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -1.5 ถึง 1.5 87

รูปที่ 7-23 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -2.5 ถึง 2.5 88

รูปที่ 7-24 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -3.5 ถึง 3.5 88

รูปที่ 7-25 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -0.5 ถึง 0.5 (:) -1 ถึง 1 (*), -1.5 ถึง 1.5 (+), -2 ถึง 2 (o), -2.5 ถึง 2.5, -3 ถึง 3 (--) และ -3.5 ถึง 3.5 (-.) 89

รูปที่ 7-26 แสดงความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักเริ่มต้นและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่าย A 89

รูปที่ 7-27 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.2$ และ $\alpha = 0$ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 7-28	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.4 และ α = 0	90
รูปที่ 7-29	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.6 และ α = 0	91
รูปที่ 7-30	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0	91
รูปที่ 7-31	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.8(x),0.6(*),0.4(+),0.2(o) และ α = 0.0	92
รูปที่ 7-32	แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่าย B	92
รูปที่ 7-33	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.2	93
รูปที่ 7-34	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.4	93
รูปที่ 7-35	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.6	94
รูปที่ 7-36	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.8	94
รูปที่ 7-37	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.2(o) , 0.4 (+) , 0.6 (*) , 0.8 (x)	95
รูปที่ 7-38	แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ B	95
รูปที่ 7-39	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.2 และ α = 0	96
รูปที่ 7-40	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.4 และ α = 0	96
รูปที่ 7-41	แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.6 และ α = 0	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 7-42 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0	97
รูปที่ 7-43 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.8(x),0.6(*),0.4(+),0.2(o) และ α = 0.0	98
รูปที่ 7-44 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่าย C	98
รูปที่ 7-45 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.2	99
รูปที่ 7-46 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.4	99
รูปที่ 7-47 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.6	100
รูปที่ 7-48 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.8	100
รูปที่ 7-49 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0.2(o) , 0.4 (+) , 0.6 (*) , 0.8 (x)	101
รูปที่ 7-50 แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ C	101
รูปที่ 7-51 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า η = 0.2 และ α = 0	102
รูปที่ 7-52 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า η = 0.4 และ α = 0	102
รูปที่ 7-53 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า η = 0.6 และ α = 0	103
รูปที่ 7-54 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า η = 0.8 และ α = 0	103
รูปที่ 7-55 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า η = 0.8(x),0.6(*),0.4(+),0.2(o) และ α = 0.0	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 7-56 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่าย D 104

รูปที่ 7-57 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$ 105

รูปที่ 7-58 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.4$ 105

รูปที่ 7-59 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.6$ 106

รูปที่ 7-60 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.8$ 106

รูปที่ 7-61 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2(\text{o}), 0.4(+), 0.6(*), 0.8(\text{x})$ 107

รูปที่ 7-62 แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ D 107

รูปที่ ก-1 แสดงความสัมพันธ์ของความชันจากสมการ 168

รูปที่ ก-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชั่น 168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 6-1 แสดงสถานะที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม	
ตารางที่ 6-2 แสดงรูปแบบอินพุทที่ป้อนเข้าสู่โครงข่าย	63
ตารางที่ 6-3 แสดงรูปแบบของเอาท์พุทที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่าย	69
ตารางที่ 7-1 แสดงผลการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง กรณีที่เกิดตำแหน่งเดียว (Single Fault) จากโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสี่แบบ	70 110
ตารางที่ 7-2 แสดงผลการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง กรณีที่เกิดหลายตำแหน่งในเวลาเดียวกัน (Simultaneous Fault) จากโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสี่แบบ	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

(Introduction)

จากความสำเร็จในการเลียนแบบการทำงานของเซลล์สมองในทางชีววิทยา มาเป็นโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีความสามารถในการตัดสินใจที่คล้ายกับสมองมนุษย์เป็นอย่างมาก เมื่อผนวกกับการทำงานที่มีความรวดเร็วของคอมพิวเตอร์ ทำให้ขบวนการแก้ปัญหาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมประสบความสำเร็จอย่างสูงมากในปัจจุบัน. จากคุณสมบัติที่พิเศษนี้ ได้มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลัง แทนอัลกอริทึม (Algorithm) แบบเดิมที่ใช้งานอยู่ โดยตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์เสถียรภาพทรานเซียนท์ทั้งในทางสเตติกและไดนามิค , การทำนายโหลด , การประมวลผลสัญญาณบอกเหตุ , การตรวจจับ , การบอกตำแหน่งและวิเคราะห์ความผิดปกติหรือฟอล์ต (Fault) ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง , การวิเคราะห์การวางแผนในระบบไฟฟ้ากำลัง , การวางแผนในการปฏิบัติงาน และการวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น โดยในปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นการประยุกต์การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังระบบหนึ่ง โดยใช้ข้อมูลจากสถานะการป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบทั้งหมด.

เมื่อเกิดภาวะผิดปกติซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ไม่อาจจะหลีกเลี่ยงได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง จะทำให้เกิดผลเสียหายอย่างมากต่อระบบ เช่น แรงดันไฟฟ้าในส่วนหลักของระบบลดลง , เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิต , โหลดหลุดจากการต่อกับระบบ หรืออยู่ในสภาพที่อันตราย และทำให้ระบบขาดเสถียรภาพการส่งจ่ายพลังงาน เป็นต้น. การทราบถึงตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังมีความสำคัญมากต่อการควบคุมและซ่อมแซมระบบให้กลับมาสู่สภาวะปกติให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์ที่มีความรุนแรงมากขึ้นกับระบบ เช่น การเกิดอัคคีภัยที่ทำให้ระบบเกิดความเสียเป็นบริเวณกว้างขึ้น. อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันระบบจะทำการตัดระบบในส่วนที่เกิดภาวะผิดปกติออก และจะส่งสัญญาณบอกเหตุซึ่งเป็นสัญญาณบอกสถานะภาพการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบทั้งหมดมายังศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง และตำแหน่งของเหตุภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังนี้จะต้องถูกตีความอย่างรวดเร็วจากผู้ที่ปฏิบัติงานในศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง หรือจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมระบบ (Supervisory Control and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Acquisition System , SCADA) โดยผ่านทางอุปกรณ์รับส่งข้อมูลทางไกล (Remote Terminal Unit , RTU) ในการเชื่อมต่อรับสัญญาณ ส่วนในกรณีที่ตำแหน่งของอุปกรณ์มีระยะห่างจากศูนย์ควบคุมมาก ก็อาจจะต้องส่งสัญญาณผ่านโมเด็ม หรือ การใช้ Power Line Carrier Communication (PLCC) หรือการส่งสัญญาณในลักษณะอื่น ๆ [20]. อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบ จะไม่เป็นภาระที่ง่ายเสมอไป เนื่องจากจำนวนสัญญาณที่มากในระบบ และอาจจะเกิดความผิดพลาดจากการทำงานที่ผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ทำงานเนื่องจากเกิดความชำรุดทางกลไก หรือเกิดจากความผิดพลาดจากการส่งสัญญาณ ดังนั้นการวิเคราะห์จากผู้ปฏิบัติงานในศูนย์อาจจะทำได้ด้วยความล่าช้าเป็นอย่างมาก และต้องอาศัยบุคคลที่มีความชำนาญมากเป็นพิเศษ ซึ่งหมายถึงว่าจะต้องมีผู้ปฏิบัติงานประจำอยู่ที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังเสมอ. หรือในกรณีของการใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล ซึ่งมีความรวดเร็วสูง แต่ผลลัพธ์ที่ได้ จะขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมของโปรแกรมเป็นอย่างมาก เพราะในปัญหาการประมวลผลข้างต้นมีความซับซ้อนสูง การวิเคราะห์ที่ผิดพลาดจะยิ่งทำให้เกิดความเสียหายในระบบไฟฟ้ากำลังมากขึ้นอีก.

ในการวิเคราะห์ปัญหานี้ อาจจะใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) [18] , [19] ซึ่งปัจจุบัน มีการพัฒนาฐานความรู้ (Knowledge Base) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ปัญหานี้ แต่ระบบผู้เชี่ยวชาญ จะต้องใช้ความพยายามอย่างมากในการที่จะสร้างฐานความรู้ ให้สามารถวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติขึ้นกับระบบได้อย่างมีเหตุผลในทุกๆกรณี.

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะเหมาะปัญหาในลักษณะนี้ [1]-[10] กล่าวคือโครงข่ายมีการทำงานในลักษณะการประมวลผลแบบขนานแบบกระจาย (Parallel Distribution Processing , PDP) ซึ่งทำให้โครงข่ายสามารถที่จะสร้างผลตอบสนองสัญญาณอินพุทที่เร็วมาก ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ เช่นความเร็วในการประมวลผลของซีพียู (Mflops) , ลักษณะการโปรแกรม และอัลกอริทึมที่ใช้. ความสามารถที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของโครงข่ายคือลักษณะการทำรูปแบบให้สมบูรณ์ (Pattern Completion) โดยในช่วงการพัฒนา โครงข่ายจะจดจำรูปแบบของความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแต่ละแห่งโดยใช้ตารางการป้องกันและการทำงานที่ถูกต้องของอุปกรณ์ป้องกันในระบบ มาเป็นรูปแบบที่ป้อนเข้าสู่โครงข่ายเพื่อให้โครงข่ายเรียนรู้รูปแบบต่างๆ เหล่านี้ไว้ หลังจากนั้น ถ้ามีรูปแบบอินพุทที่ไม่สมบูรณ์หรือมีการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกันมาป้อนให้กับโครงข่าย โครงข่ายจะพยายามสร้างผลตอบสนองที่ถูกต้อง ถ้าอินพุทที่ป้อนเข้ามามีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบที่โครงข่ายเรียนรู้ไปแล้ว ซึ่งเรียกว่าเป็นความเกี่ยวข้องแบบออโตแอสโซซิเอชัน (Autoassociation).โครงข่ายยังมีคุณสมบัติในการทนทานต่อความผิดพลาด (Fault Tolerance) หมายถึง โครงข่ายยังสามารถสร้างผลตอบสนองออกมาได้ ถ้ามีส่วนใดส่วนหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโครงข่ายเกิดความเสียหายใช้การไม่ได้ นอกจากนี้เราสามารถที่จะสร้างรูปแบบที่ใช้การเรียนรู้เพิ่มเติมขึ้นจากประสบการณ์และความชำนาญในการวิเคราะห์ปัญหาของผู้ควบคุมระบบ ซึ่งทำให้โครงข่ายที่ได้มีความสามารถในการตัดสินใจที่ใกล้เคียงกับมนุษย์มากยิ่งขึ้น.

ความเข้าใจในเรื่องโครงข่ายประสาทเทียมจะอยู่บนพื้นฐานของความเข้าใจการทำงานของเซลล์ประสาททางชีววิทยาเป็นอย่างมาก. บทที่ 2 ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงถึงรายละเอียดของเซลล์ประสาทในทางชีววิทยา ที่ถูกเลียนแบบการทำงานมาเป็นเซลล์ประสาทเทียมที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ และบทที่ 3 จะเปรียบเทียบให้เห็นถึงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม , การทำงานพื้นฐานของเซลล์ประสาทเทียม และการเรียนรู้ของเซลล์ประสาทเทียมแบบต่างๆ. บทที่ 4 จะอธิบายถึงความสามารถของเซลล์ประสาทเทียมที่สามารถแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก บทที่ 5 จะเพิ่มความสามารถในการแก้ไขปัญหาของเซลล์ประสาท โดยการเชื่อมต่อเซลล์ประสาทแต่ละตัวเข้าด้วยกันเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ที่สามารถใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงมากๆได้ รวมทั้งอัลกอริทึมการเรียนรู้ของโครงข่าย และการวิเคราะห์การทำงานของโครงข่ายในทางคณิตศาสตร์.

ปัญหาของการวิเคราะห์หาตำแหน่งของความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังจะถูกอธิบายไว้ในบทที่ 6 รวมทั้งการจัดเตรียมโครงข่าย และข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการฝึกหัดโครงข่าย. บทที่ 7 จะแสดงถึงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทำงานของโครงข่าย ทั้งในช่วงการเรียนรู้ของโครงข่าย และผลตอบสนองเอาท์พุทของโครงข่ายที่แสดงถึงตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังในลักษณะต่างๆ ตามรูปแบบการป้องกันของระบบไฟฟ้ากำลังตัวอย่าง. บทที่ 8 จะเป็นผลสรุปและข้อวิจารณ์ของการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการวิเคราะห์ปัญหานี้.

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะให้ความสำคัญต่อการทำงานของเซลล์ประสาทในทางชีววิทยา ซึ่งจะเป็นพื้นฐานของความเข้าใจถึงโครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่และการพัฒนาแบบจำลองประสาทเทียมในลักษณะอื่นที่มีการทำงานใกล้เคียงกับทางชีววิทยามากยิ่งขึ้น ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองให้ผลตอบสนองที่มีความสามารถใกล้เคียงกับสมองของมนุษย์มากขึ้น. อีกส่วนหนึ่งคือการวิเคราะห์ในทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ร่วมกับแบบจำลองต่างๆ ที่จะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของโครงข่ายได้อย่างชัดเจนและยังเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงให้โครงข่ายมีความสามารถในการเรียนรู้ที่รวดเร็วขึ้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

โครงข่ายเซลล์ประสาทในทางชีวะวิทยา

(Biological Neural Networks)

คุณสมบัติข้อหนึ่งในหลายข้อ ของสิ่งมีชีวิตคือ สิ่งมีชีวิตสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ การตอบสนองต่อสิ่งเร้านี้ ในสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ ที่ไม่มีเซลล์ประสาท (หรือเส้นประสาท) เช่นพวกโปรโตซัว เนื่องจากโปรโตซัวมีเซลล์เดียว แต่ก็ยังสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ด้วย การตอบสนองสิ่งเร้าในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงกว่า จะใช้เซลล์ประสาทและอวัยวะรับสัมผัสเข้าร่วมด้วย นอกจากนั้น การทำงานของส่วนต่างๆของร่างกาย จะต้องมีการทำงานร่วมกัน และประสานงานกัน

การที่ระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกายทำงานประสานสอดคล้องกันเพื่อให้ร่างกายอยู่ได้อย่างปกติและสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในได้ในเวลาอันรวดเร็วนั้น เป็นเพราะการควบคุมของระบบประสาท ผ่านเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Sensory Neuron) เข้าสู่ศูนย์ประสาทในสมองและไขสันหลัง แล้วส่งสัญญาณที่เหมาะสมผ่านเซลล์ประสาทส่งความรู้สึก (Motor Neural) ไปสู่เนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่สอบสนอง (Effector) ดังนั้นการทำงานของระบบประสาทก็คือควบคุมการทำงานของระบบอื่นๆ ให้สอดคล้องกันนั่นเอง และหน่วยที่ทำหน้าที่ (Function Unit) ของระบบประสาทก็คือ เซลล์ประสาท (Neuron)

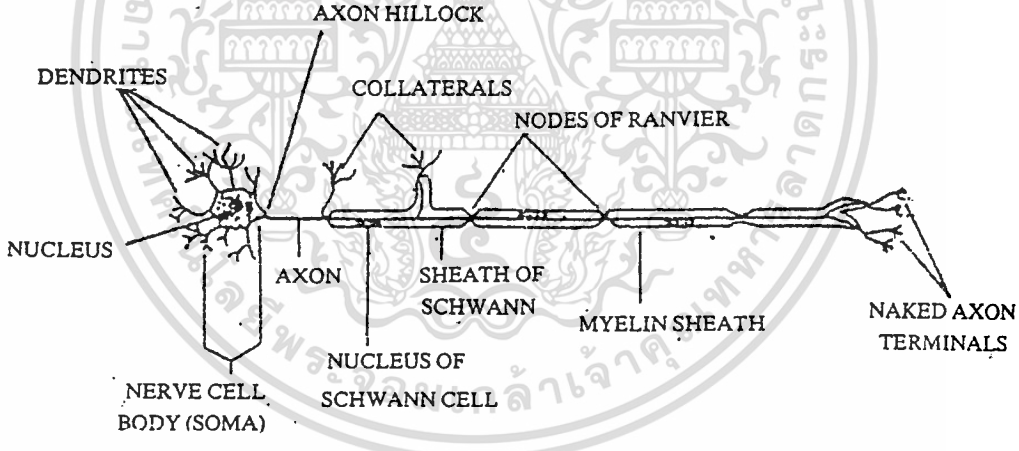
2.1 รูปร่างของเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาทโดยทั่วไปแต่ละตัวประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนคือ

1. **ตัวเซลล์ (Cell Body หรือ Soma หรือ Perikaryon)** ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม ภายในมีนิวเคลียสกลมใหญ่ โดยทั่วไปอยู่ตรงกลางเซลล์ เห็นคลีโอสัสชัดเจน
2. **เดนไดรต์** มีอยู่ 2 ชนิด คือ
   2.1 **เดนไดรต์ (Dendrite)** เป็นแขนงสั้นๆ ออกจากตัวเซลล์ประสาทหลายๆ แห่ง และเมื่อออกจากเซลล์ประสาทก็จะแยกไปเป็นแขนงออกไปทันที เป็นส่วนที่มีหน้าที่รับเอากระแสประสาทจากภายนอกเข้าสู่ตัวเซลล์

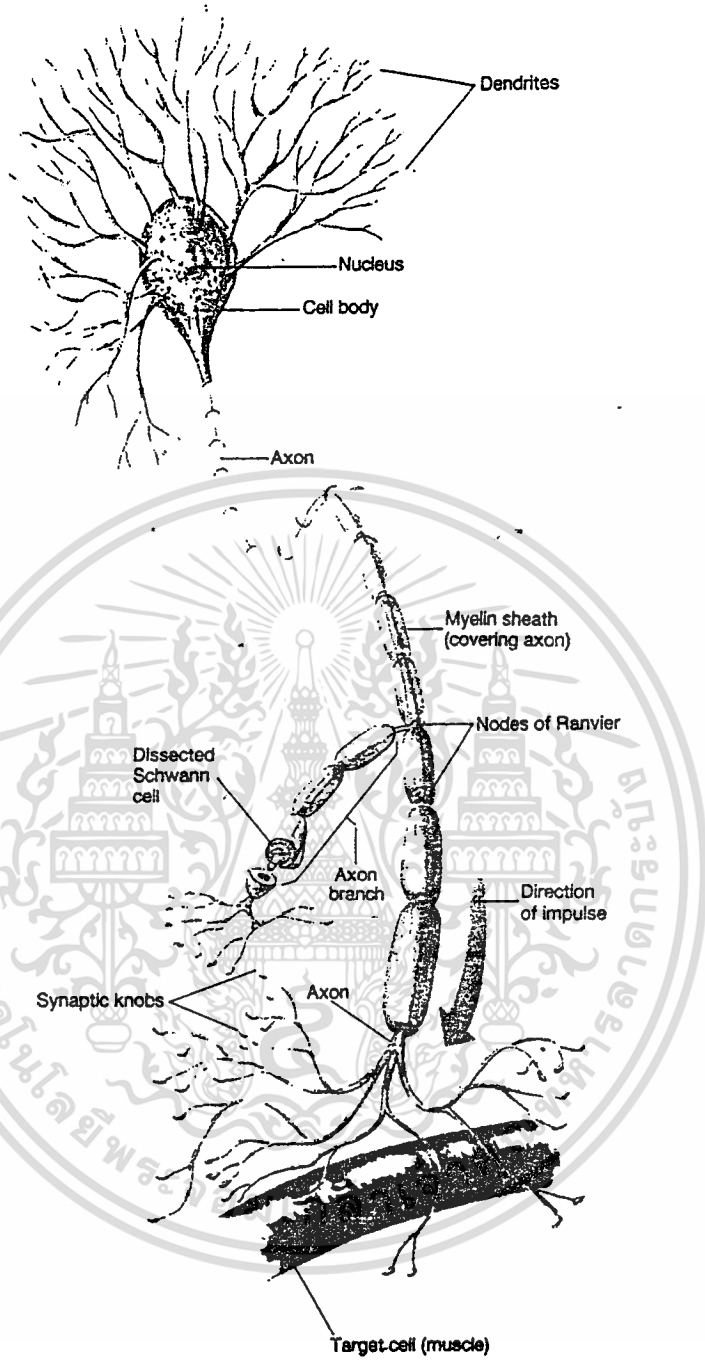
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แอกซอน (Axon) แอกซอนเป็นแขนงที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ เป็นแขนงยาวอันเดียวที่ยื่นออกไปจากตัวเซลล์ บริเวณที่แอกซอนออกจากตัวเซลล์จะมีลักษณะเป็นรูปปีรามิด เรียกว่า แอกซอน ฮิลลอค (Axon Hillock) ตลอดความยาวของแอกซอน อาจมีแขนงย่อยแตกออกไปได้อีก เรียกว่า Collateral Branch ซึ่งปลายของแอกซอนจะไปสัมผัสกับเซลล์ประสาทอื่นๆ ต่อไป แอกซอนของเซลล์ประสาทส่วนใหญ่จะมีปลอกไมอีลิน (Myelin Sheath) หุ้ม ปลอกนี้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนกับไขมันม้วนพันกันอยู่หลายชั้น โดยปลอกไมอีลินจะหุ้มแอกซอนเป็นช่วงๆ ไป โดยเว้นบริเวณไม่หุ้มเป็นระยะๆ ประมาณ 1 มม. เรียกว่า โนดออฟรองเวียร์ (Node Of Ranvier) และส่วนปลายของแอกซอนจะไม่มีปลอกไมอีลินหุ้ม ในระบบประสาทอัตโนมัติ บริเวณปลายสุดของแอกซอนจะโป่งออกเป็นกระเปาะ เรียกว่า เอนบัลบ์ (End Bulb) หรือเทอร์มินัล-บัททึน (Terminal Buttons)



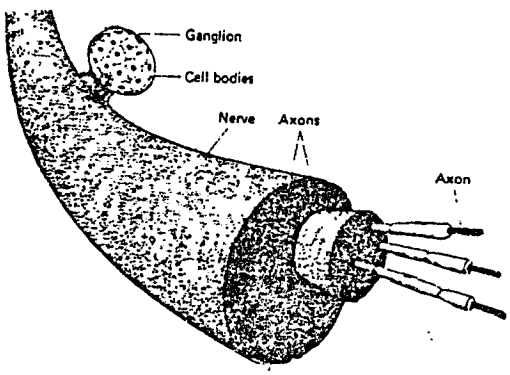
รูปที่ 2-1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ประสาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

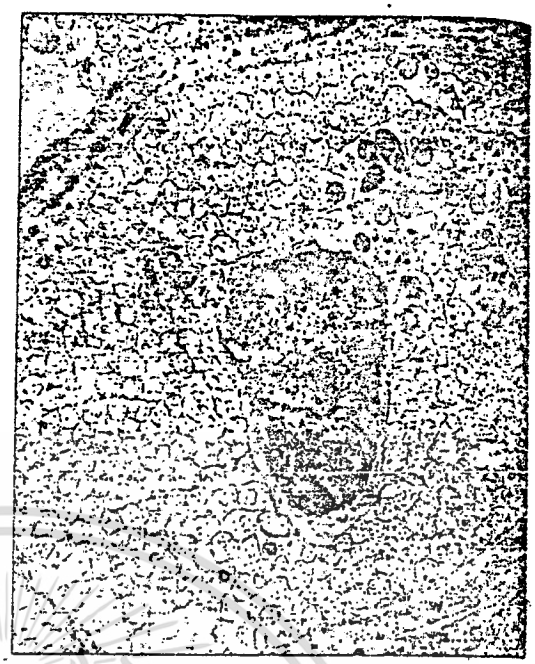


รูปที่ 2-2 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ประสาท เมื่อมีกระแสประสาทผ่านไปตามใยประสาท แล้วส่งไปยังเซลล์ประสาท เซลล์ต่อไปหรือกล้ามเนื้อซึ่งเป็นเป้าหมาย เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง แต่มีช่องว่างเล็กมากอยู่ระหว่างเซลล์ประสาทเหล่านั้น การเชื่อมต่อแบบนี้ เรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.



ข.

รูปที่ 2-3

(ซ้าย) แสดงโครงสร้างของเส้นประสาทและปมประสาท เส้นประสาทแต่ละเส้นประกอบด้วยมัดของแอกซอนรวมกันอยู่ด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน กลุ่มของตัวเซลล์ (Cell Bodies) รวมกันเป็นปมประสาท (Ganglion)

(ขวา) แสดงเส้นประสาทตา (Optic Nerve) ในทารกซึ่งกำลังเจริญอยู่ในครรภ์มารดา เมื่อผ่าตามขวางขยาย 25,000 เท่า ตรงกลางของภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะเห็นเกลียเซลล์ขนาดใหญ่ ซึ่งมีนิวเคลียสเด่นชัด รอบๆ ประกอบด้วยแอกซอนมากมายของเส้นประสาทตาเป็นรูปวงกลมเล็กๆ

2.2 ชนิดของเซลล์ประสาท

เราอาจแบ่งเซลล์ประสาทออกได้ 3 ชนิด ตามจำนวนแขนงที่แตกออกไปจากตัวเซลล์ คือ

1. **เซลล์ประสาทขั้วเดียว (Unipolar Neuron)** เป็นเซลล์ประสาทที่มีแขนงแตกออกจากตัวเซลล์เพียงอันเดียว แล้วแขนงนี้จะแตกออกเป็น 2 เส้น เส้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นเดนไดรต์ อีกเส้นเป็นแอกซอน ซึ่งจะมีเดนไดรต์ยาวกว่าแอกซอนมาก เช่น เส้นประสาทรับความรู้สึก (Afferent Neuron)
2. **เซลล์ประสาทสองขั้ว (Bipolar Neuron)** เป็นเซลล์ประสาทที่มีแขนงแตกออกจากตัวเซลล์ 2 เส้น เส้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นเดนไดรต์ อีกเส้นหนึ่งเป็นแอกซอน ทั้งเดนไดรต์และ

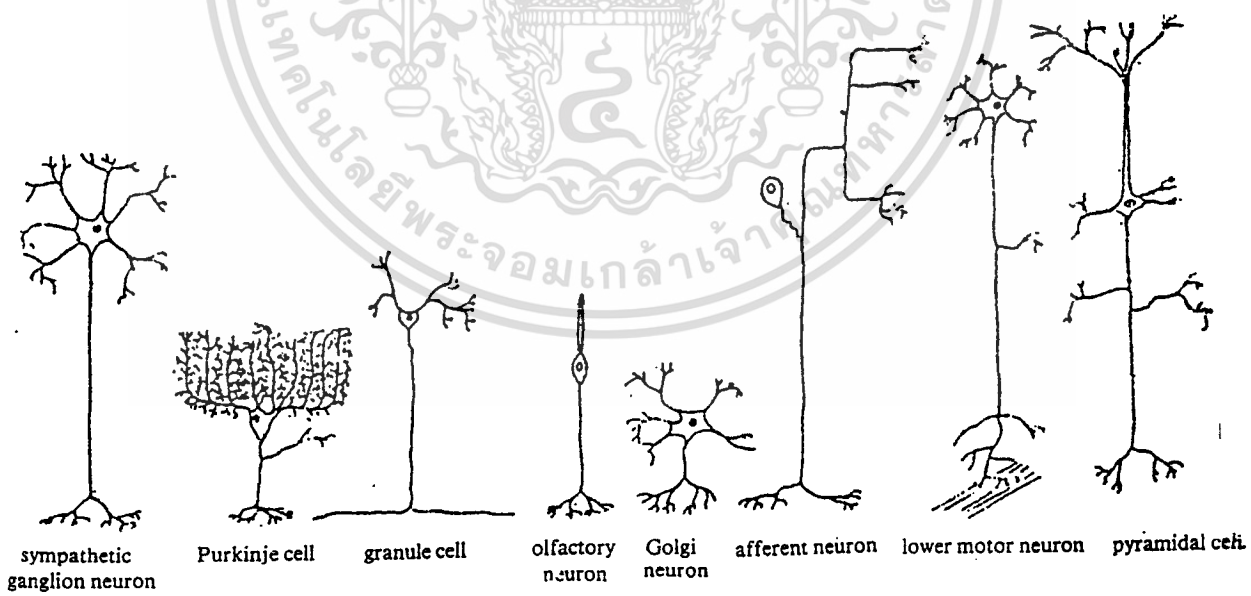
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอกซอนยาวไกลเคียงกัน พบเซลล์ประสาทชนิดนี้ได้ที่ เรตินา, คอคเคลีย และเยื่อบุผิวของโพรงจมูกที่ทำหน้าที่ดมกลิ่น

3. **เซลล์ประสาทหลายขั้ว (Multipolar Neuron)** เป็นเซลล์ประสาทที่แขนงแตกออกจากตัวเซลล์มากกว่า 2 เส้นขึ้นไป โดยเป็นแอกซอนยาวหนึ่งเส้น ที่เหลือเป็นเดนไดรต์ ซึ่งเป็นเส้นสั้น พบเซลล์ประสาทชนิดนี้ได้ทั่วไปทั้งในสมองและไขสันหลัง เช่น เซลล์เพอร์คินเจ (Purkinje Cell) เซลล์ประสาทส่งคำสั่ง (Motor Neuron) เซลล์ไพรามิดัล (Pyramidal Cell)

ถ้าแบ่งเซลล์ประสาทออกตามหน้าที่ จะแบ่งได้เป็น 3 ชนิด เช่นเดียวกันคือ

4. **เซลล์ประสาทรับความรู้สึก** เป็นเซลล์ประสาทที่รับความรู้สึกจากสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกร่างกาย ส่งเข้าสู่สมองและไขสันหลัง
5. **เซลล์ประสาทส่งคำสั่ง** เป็นเซลล์ที่ส่งคำสั่งจากสมองและไขสันหลังออกไปยังเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่รับการตอบสนอง
6. **เซลล์ประสาทประสานงาน (Interneuron หรือ Association Neuron)** เป็นเซลล์ที่อยู่ระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและส่งคำสั่ง ทำหน้าที่เชื่อมโยงให้เซลล์ประสาทติดต่อกันเป็นวงขึ้น



รูปที่ 2-4 ชนิดของเซลล์ประสาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ชนิดของเส้นประสาท

เส้นประสาท (Nerve Fiber) อาจแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 **เส้นประสาทที่มีปลอกไมอีลินหุ้ม (Myelinated Nerve)** มักเป็นเส้นประสาทขนาดใหญ่

1.2 **เส้นประสาทที่ไม่มีปลอกไมอีลินหุ้ม (Non Myelinated Nerve)** มักเป็นเส้นประสาทขนาดเล็ก เช่น เส้นประสาทโซมาติก (Somatic Fiber) มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมครอน, เส้นประสาทหลังแก๊งเกลีย (Postganglionic Fiber) ของระบบประสาทอัตโนมัติ และเส้นประสาทในระบบประสาทส่วนกลางและในรากประสาทบน (Dorsal Nerve Root)

1.3 **เส้นประสาทส่วนขอบ (Peripheral Nerve)** มักเป็นเส้นประสาทผสม (Mixed Nerve) คือประกอบด้วยกลุ่มของเส้นประสาทขนาดต่างๆ กัน อาจมีทั้งเส้นประสาทนำคำสั่งและรับความรู้สึกปะปนกันอยู่

2.4 คุณสมบัติของเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาทมีคุณสมบัติ 2 ประการ คือสามารถตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในร่างกายที่มากระตุ้น (Excitability หรือ Irritability) และสามารถนำกระแสประสาทจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ (Conductivity)

2.5 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในสภาวะปกติของเซลล์ประสาท

โดยทั่วไปแล้วเซลล์ที่มีชีวิตจะมีค่าความเข้มข้นของสารภายในเซลล์เท่ากับของเหลวที่อยู่ล้อมรอบเซลล์ เพื่อป้องกันมิให้น้ำออสโมซิสออกจากเซลล์หรือเข้าสู่เซลล์จนเป็นอันตราย แต่จะมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันระหว่างของเหลวที่อยู่ภายในและภายนอกเซลล์ ทั้งนี้เป็นเพราะเยื่อหุ้มเซลล์จะเป็นตัวควบคุมหรือคัดเลือกสารที่เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ และมีขบวนการขนส่งแบบกัมมันต์ (Active Transport) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ด้วย ในกรณีของเซลล์ประสาทที่อยู่ในสภาวะปกตินั้นพบว่า มี K^+ อยู่ภายในไซโตพลาสซึมมากกว่าภายนอกเซลล์และไม่ต่ำกว่า 25 เท่า แต่ของเหลวภายนอกเซลล์มี Na^+ และ Cl^- มากกว่าของเหลวภายในเซลล์ และภายในเซลล์มีสารประจุลบที่มีโมเลกุลใหญ่ ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ออกไปยังนอกเซลล์ได้คือ โปรตีน และกรดนิวคลีอิค ดังนั้นประจุลบภายในเซลล์จึงไม่สามารถทำให้เป็นกลางได้ทั้งหมด จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยผิวด้านในของเซลล์มีประจุลบสูงกว่าที่ผิวด้านนอกของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาวะปกติหรือขณะพัก ค่าความต่างศักย์ที่เยื่อหุ้มเซลล์ส่วนใหญ่เกิดจากการเคลื่อนที่ของ K^+ จากภายในออกสู่ภายนอกเซลล์ เพราะจากขบวนการของโซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม (Na^+ - K^+ Pump) จะทำให้ภายในเซลล์มี K^+ มาก Na^+ น้อย และเยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้ K^+ เคลื่อนที่ผ่านได้ดีกว่า Na^+ ประมาณ 50 - 100 เท่า

เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งสอดเข้าไปในแอกซอนของเซลล์ประสาทปลาหมึก และอีกขั้วหนึ่งแตะอยู่ภายนอก จะวัดความต่างศักย์ได้ประมาณ - 70 มิลลิโวลท์ ค่านี้คือค่าความต่างศักย์ในภาวะปกติ (Resting Membrane Potential)

2.6 แอคชั่นโพเทนเชียล (Action Potential)

เมื่อเซลล์ประสาทถูกกระตุ้น จะทำให้คุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ตรงบริเวณที่ถูกกระตุ้นเปลี่ยนแปลงไปชั่วคราว โดยยอมให้ Na^+ เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ตามความเข้มข้นได้มากขึ้น สาเหตุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้มันเป็นเพราะโซเดียมปั๊มถูกยับยั้งการทำงานชั่วคราวและรูบนเยื่อหุ้มเซลล์ที่จะให้เฉพาะ Na^+ เคลื่อนที่ผ่านได้เท่านั้นค่อยๆ เปิดออก Na^+ ซึ่งมีมากภายนอกจึงเคลื่อนที่เข้าไปภายในเซลล์ ทำให้ภายในเซลล์ตรงบริเวณนี้มีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า ถ้าตัวกระตุ้นมีความแรงมากขึ้นอีก จนทำให้ Na^+ เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์และความต่างศักย์เปลี่ยนไปประมาณ 15 mV นั่นคือ ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าประมาณ -55 mV เมื่อถึงจุดนี้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นเพราะรูสำหรับ Na^+ เปิดออกเต็มที่ ทำให้ Na^+ เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ได้มากกว่าปกติถึง 500 เท่า ในขณะนี้ศักดาไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์เป็นศักย์สมดุลของโซเดียม (Na^+ Equilibrium Potential) Na^+ จะเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์จนความต่างศักดาไฟฟ้ามีค่าประมาณ +35 mV ซึ่งภายในเซลล์มีสภาพไฟฟ้าเป็นบวก และภายนอกเซลล์มีสภาพไฟฟ้าเป็นลบ เราเรียกช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าจาก -55 mV จนถึง +35mV นี้ว่าดีโพลาไรเซชั่น (Depolarization)

เมื่อศักดาไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์เปลี่ยนไปจนเกิดดีโพลาไรเซชั่นเต็มที่แล้ว ศักดาไฟฟ้าของเยื่อเซลล์จะลดลงสู่ระดับเดิม เรียกว่าเกิด รีโพลาไรเซชั่น (Repolarization) ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ Na^+ เข้าสู่เซลล์ลดลงจนหยุดการเคลื่อนที่เข้า ในขณะที่ Na^+ เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ในช่วงของการดีโพลาไรเซชั่นนั้น K^+ ก็เริ่มเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ตามลาดความเข้มข้นเหมือนกัน และจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นเมื่อรูของ Na^+ ปิด ทำให้มีการระบายประจุบวกออกไป เพื่อทำให้ภายในเซลล์เป็นลบเหมือนเดิม

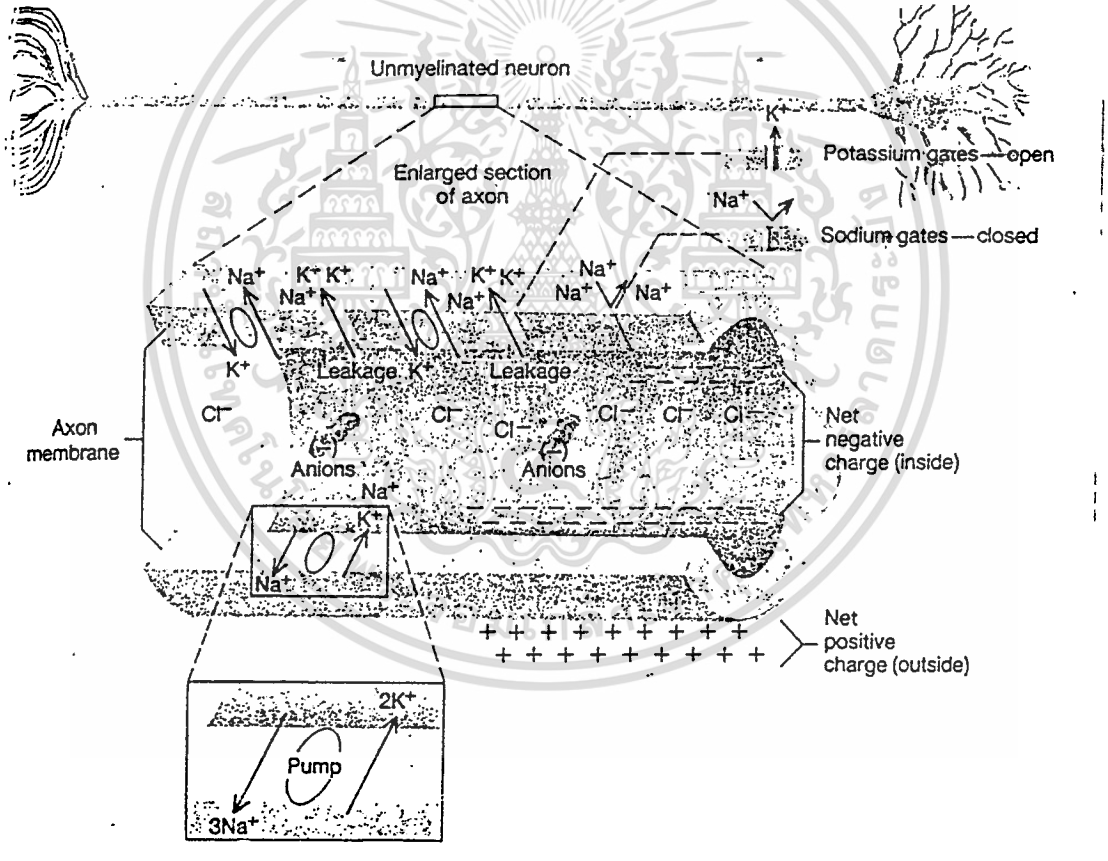
เมื่อมีรีโพลาไรเซชั่น ไปได้ประมาณ 70 % อัตราของการรีโพลาไรเซชั่นจะลดลงอย่างช้าๆ เรียกช่วงนี้ว่า เนกาทีฟอาฟเตอร์โพเทนเชียล (Negative After Potential) หรือ อาฟเตอร์ดีโพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาไรเซชั่น (After Depolarization) ซึ่งเป็นช่วงที่โซเดียมโพแทสเซียมปั๊มเริ่มทำงานเพื่อดูด K^+ เข้าสู่หลักเซลล์และผลัก Na^+ ออกจากเซลล์ ช่วงนี้ยังมี K^+ สะสมอยู่ภายนอกเซลล์

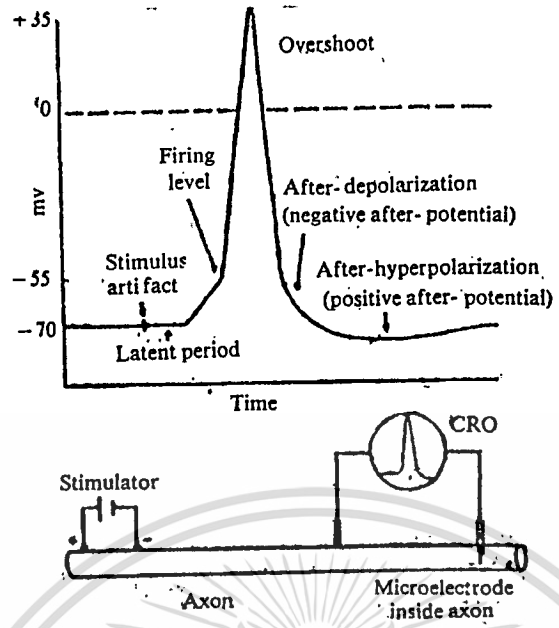
หลังจากความต่างศักดาไฟฟ้าลดลงมาสู่ค่าปกติแล้ว มันจะลดลงมาต่ำกว่าปกติอีก เรียกช่วงนี้ว่า โพซิทีฟอาฟเตอร์โพแทนเชียล (Positive After Potential) หรือ อาฟเตอร์ไฮเพอโพลาไรเซชั่น (After Hyperpolarization) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการดูด K^+ กลับเข้าสู่เซลล์น้อยกว่าการที่ขับ Na^+ ออกจากเซลล์ ทำให้มีการสะสมประจุบวกภายนอกเซลล์มากกว่าปกติ

ลำดับของการเปลี่ยนแปลงความต่างศักดาไฟฟ้าทั้งหมดเรียกว่า แอคชั่นโพเทนเชียล (Action Potential)

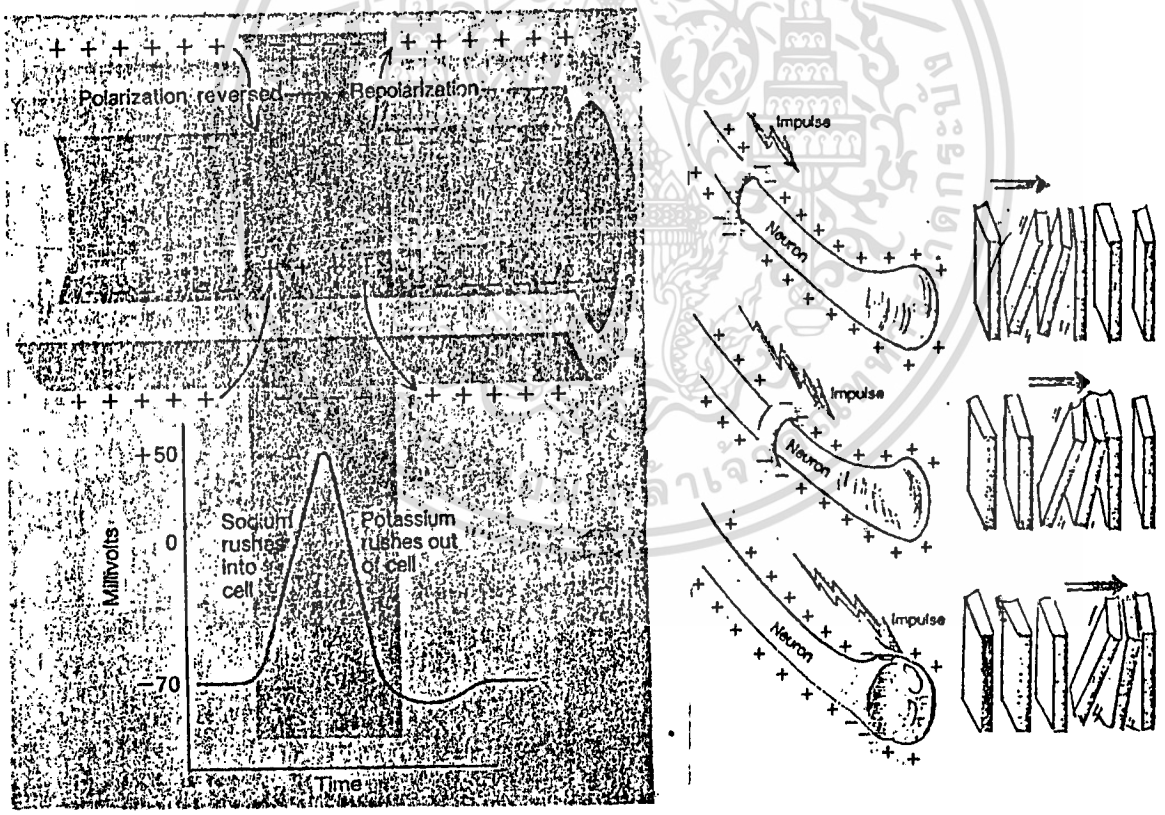


รูปที่ 2-5 แสดงประจุในใยประสาทขณะพัก จากพลังงาน ATP ที่ใช้ใน Na^+ - K^+ Pump จะดัน Na^+ ออกนอกเยื่อหุ้ม ในขณะที่ K^+ จะผ่านเข้าภายใน ปกติ K^+ จะมีทางออกได้ตลอดเวลา ในขณะที่ Na^+ ไม่สามารถผ่านเข้า เมื่อรวมประจุทั้งหมดแล้วภายในยังมีประจุลบมากกว่า ส่วนด้านนอกมีประจุบวกมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

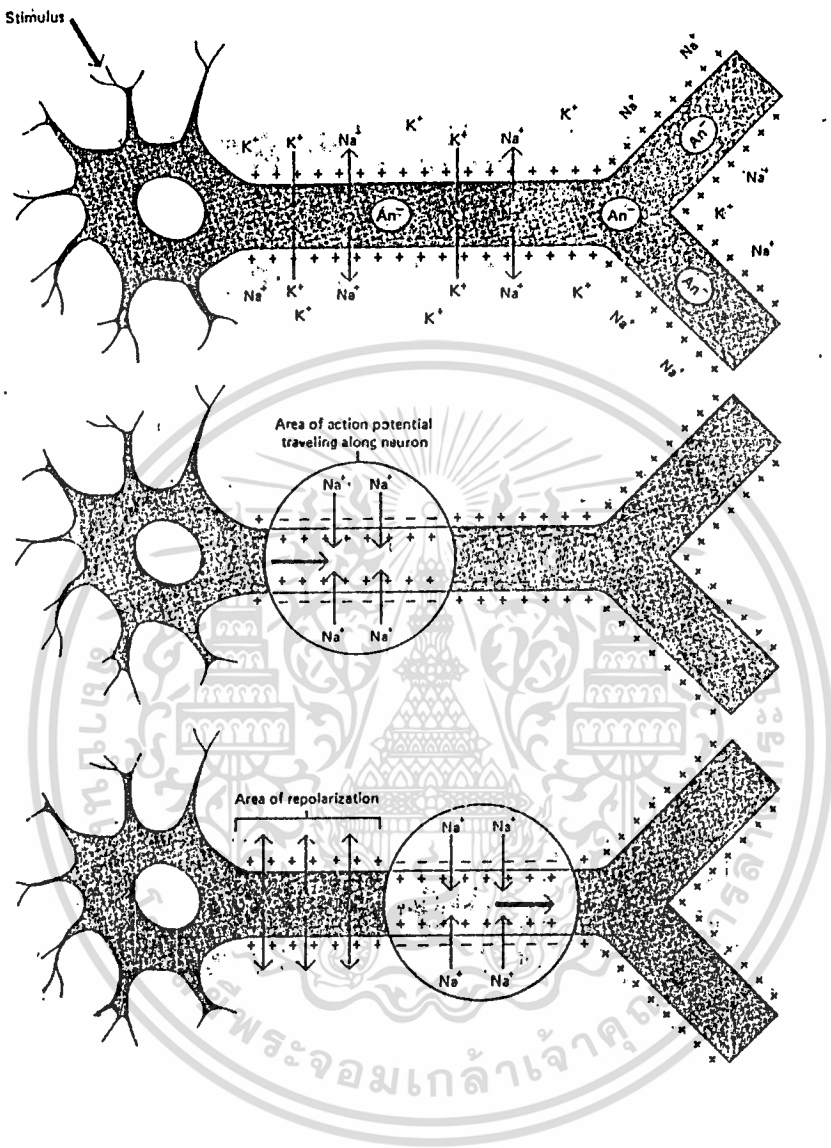


รูปที่ 2-6 แอคชั่นโพเทนเชียลของเซลล์ประสาท



รูปที่ 2-7 เมื่อเกิดแอคชั่นโพเทนเชียล เยื่อของใยประสาทยอมให้ Na^+ แพร่เข้ามาข้างในเยื่อได้ ต่อมาอีกชั่วขณะ K^+ จะออกสู่ด้านนอกเยื่อหุ้มได้ (Repolarization) ต่อมามีการเปลี่ยนแปลงกลับทำให้ตระแสประสาทเคลื่อนที่ต่อไปได้ เหมือนการล้มของโดมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

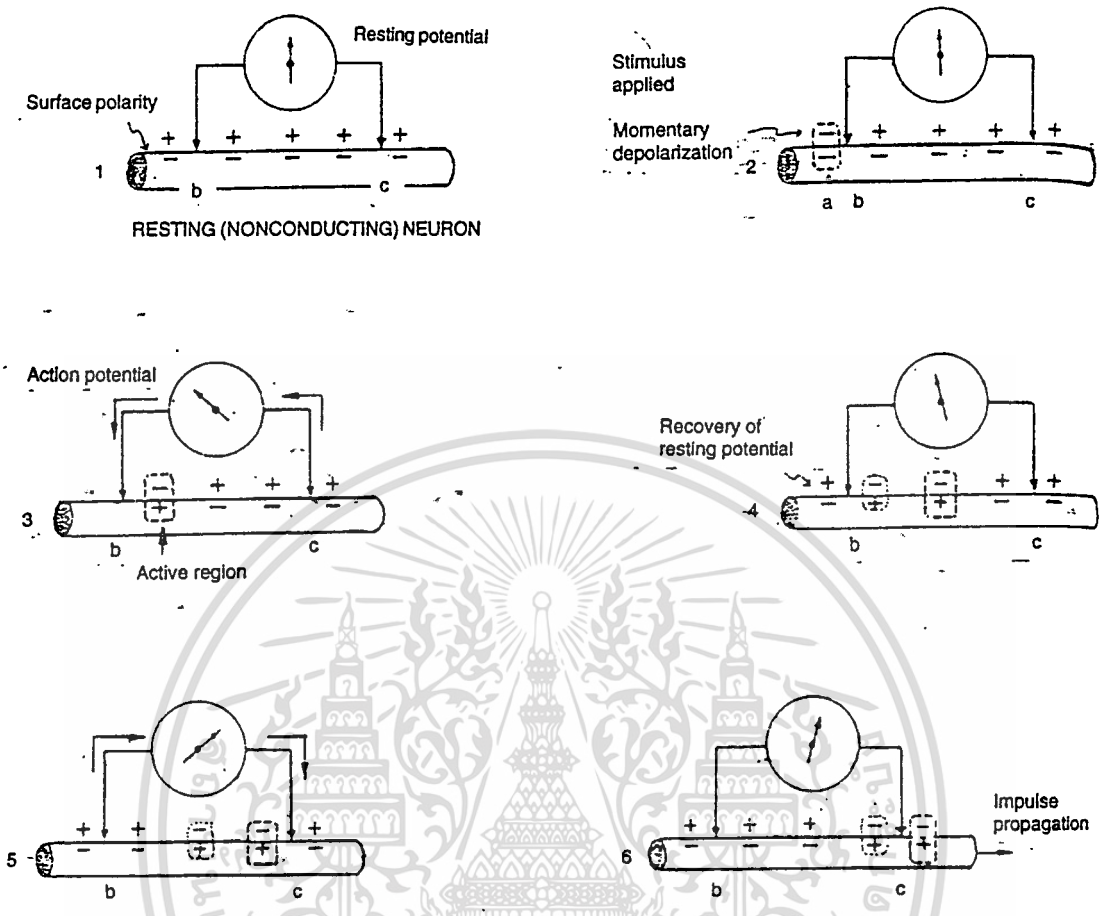


รูปที่ 2-8 แสดงการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทตลอดใยประสาทเมื่อเดนไดรท์หรือตัวเซลล์ถูกกระตุ้นด้วยความแรงมากพอ

(บน) ในระยะที่ใยประสาทไม่ถูกกระตุ้น ประจุอยู่ในระยะพัก (Resting Potential)

(กลาง และ ล่าง) กระแสประสาทเคลื่อนที่ในลักษณะคลื่นของการเปลี่ยนประจุ (Depolarization) ไปตลอดความยาวของแอกซอน ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงประจุ Na^+ แพร่เข้าในเซลล์ เมื่อกระแสประสาทเคลื่อนที่ผ่านไปแล้ว ประจุจะเปลี่ยนกลับทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนประจุโดยใช้ EEG วัดประจุ

1. ระยะที่ยังไม่ถูกกระตุ้น เข็ม EEG จะอยู่ตรงกลาง
2. เมื่อถูกกระตุ้นประจุยังไม่เปลี่ยนแปลงที่สายไฟซึ่งต่อเข้า EEG เข็มจึงอยู่ที่เดิม
3. เมื่อประจุเปลี่ยน บริเวณสายไฟ ซึ่งต่อเข้าสู่ EEG สายเข็มแรกจึงเบนซ้ายสุด
4. เมื่อกระแสประสาทผ่านไปแล้ว เกิดการเปลี่ยนประจุกลับ เข็มจึงเบนกลับบ้าง
5. เมื่อกระแสประสาทผ่านสายไฟอีกด้านหนึ่ง เมื่อเกิดการเปลี่ยนประจุตรงข้ามเหมือนกับข้อ 3. เข็มจึงเบนในทิศทางตรงกันข้ามกับข้อ 3.
6. เมื่อกระแสประสาทผ่านไปแล้ว ประจุเปลี่ยนกลับ เข็ม EEG จึงเบนกลับ

2.7 ธเรชโฮลด์ (Threshold) และกฎ All - Or - None

ระดับศักดาไฟฟ้าที่ผิวของเซลล์ ซึ่งเมื่อลดลงถึงระดับนี้แล้วจะทำให้มีแอคชั่นโพเทนเชียลเกิดขึ้น และการกระตุ้นหรือความแรงของกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดแอคชั่นโพเทน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซียล เรียกว่า ธเรชโฮลด์ (Threshold) ถ้าใช้ตัวกระตุ้นที่มีความแรงน้อยกว่าธเรชโฮลด์ (Subthreshold) จะไม่เกิดแอคชั่นโพเทนเชียล (None) เพียงแต่เกิดกระแสเฉพาะที่ (Local Response) คือเกิดการดีโพลาไรเซชั่น ตรงตำแหน่งที่มีการกระตุ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นรวดเร็วแล้วลดลงเท่ากับความต่างศักดาขณะปกติ และถ้าเพิ่มความแรงของการกระตุ้นให้มากกว่าธเรชโฮลด์ที่เกิดแอคชั่นโพเทนเชียล ซึ่งมีขนาดเท่าเดิม (All) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเส้นประสาทจึงเป็นไปตามกฎ All - Or - None

2.8 การเคลื่อนที่ของเซลล์ประสาท (Propagation หรือ Condition Of Nerve Impulse)

เมื่อมีการกระตุ้นเส้นประสาทจนทำให้เกิดแอคชั่นโพเทนเชียลขึ้น ณ ตำแหน่งใดของเส้นประสาท จะทำให้สภาพไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนไปคือ ภายในเซลล์มีสภาพไฟฟ้าเป็นบวกและภายนอกเซลล์เป็นลบ เรียกบริเวณนี้ว่า ดีโพลาไรเซชั่น หรือ กระแสจม (Current Sink) แต่ที่บริเวณข้างเคียงทั้งสองข้างยังมีสภาพไฟฟ้าเหมือนเดิมคือ ภายในเซลล์เป็นลบ และภายนอกเซลล์เป็นบวก ทำให้มีการเคลื่อนที่ของประจุบวกไปหาประจุลบทั้งภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ซึ่งเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าคล้ายกับมีถ่านไฟฉาย 2 ก้อนมาต่อกันแบบอนุกรม เราเรียกการไหลของกระแสไฟฟ้าในเซลล์ประสาทนี้ว่า กระแสประสาท (Nerve Impulse)

การเคลื่อนที่ของเซลล์ประสาทมี 2 แบบ คือ

1. **ในเซลล์ประสาทที่ไม่มีปลอกไมอีลินหุ้ม**

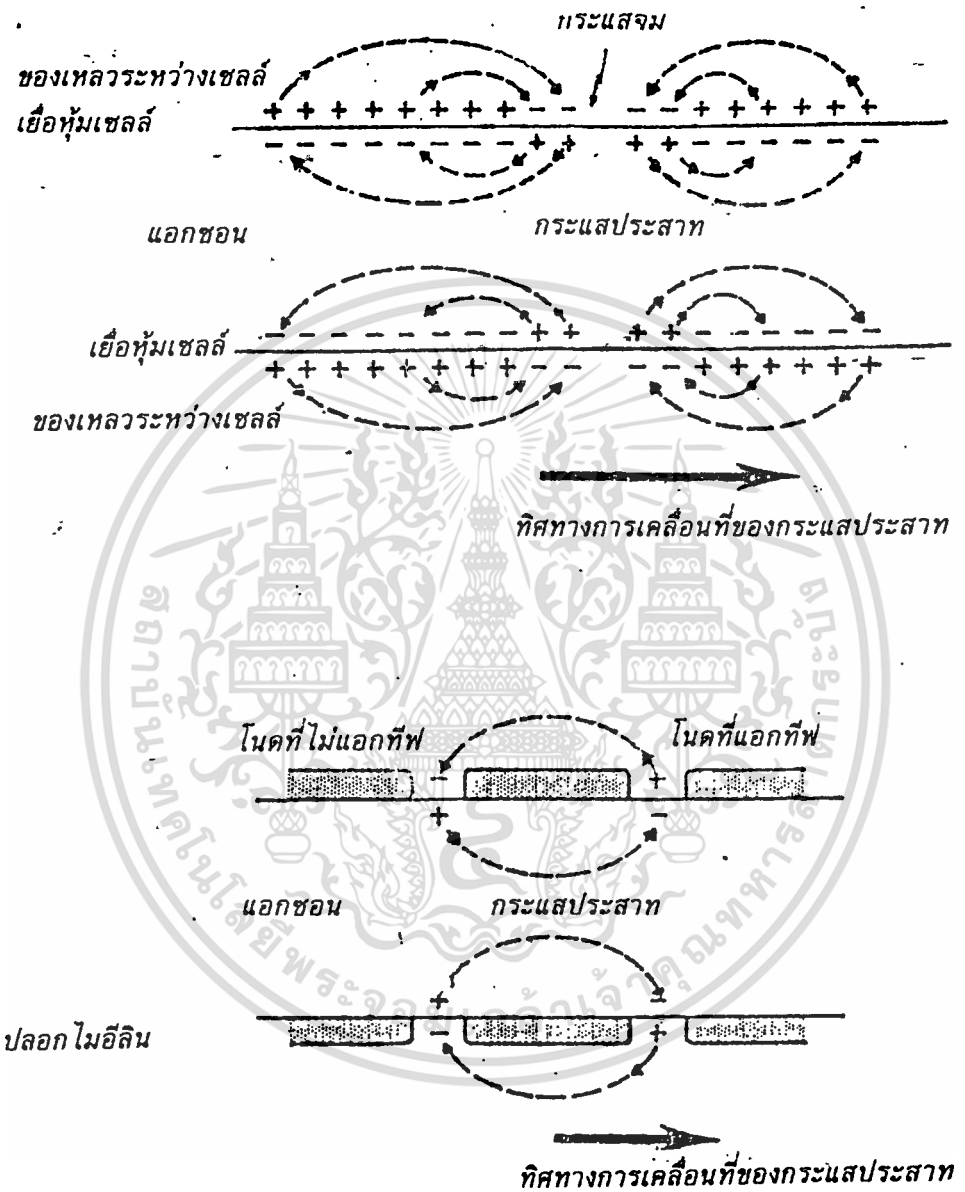
การนำกระแสประสาทจะเกิดต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ จากจุดที่ถูกกระตุ้นไปยังบริเวณที่ไม่ถูกกระตุ้น โดยที่ภายนอกเซลล์ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านของเหลวระหว่างเซลล์ จากตำแหน่งที่ไม่ถูกกระตุ้นไปยังตำแหน่งที่ถูกกระตุ้น และภายในเซลล์กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไซโตพลาสซึมจากตำแหน่งที่ถูกกระตุ้นไปยังตำแหน่งที่ไม่ถูกกระตุ้น ทำให้บริเวณที่ไม่ถูกกระตุ้นเกิดการดีโพลาไรเซชั่น ในขณะที่ตำแหน่งซึ่งถูกกระตุ้นเกิดการรีโพลาไรเซชั่น การดีโพลาไรเซชั่นที่ตำแหน่งใหม่นี้ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในแบบที่กล่าวมาแล้ว และเกิดการดีโพลาไรเซชั่นต่อๆ ไปจนถึงปลายประสาทและกระแสประสาทเคลื่อนที่ไปโดยมีขนาดคงที่ตลอดความยาวของเส้นประสาท

2. **ในเซลล์ประสาทที่มีปลอกไมอีลินหุ้ม**

กระแสประสาทเคลื่อนที่ไปได้โดยการกระโดดจากโนดออฟรองเวียร์ที่หนึ่งไปยังโนดออฟรองเวียร์ที่อยู่ถัดไป ทั้งนี้เพราะปลอกไมอีลินเป็นสารประเภทไขมันซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า จึงไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลไปในทำนองเดียวกับที่เกิดในเส้นประสาทที่ไม่มีปลอกไมอีลินหุ้ม แต่จะมีการกระโดดข้ามปลอกไมอีลินไป เราเรียกการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทแบบกระโดดนี้ว่า Saltatory Conduction การเคลื่อนที่ของกระแสประสาท

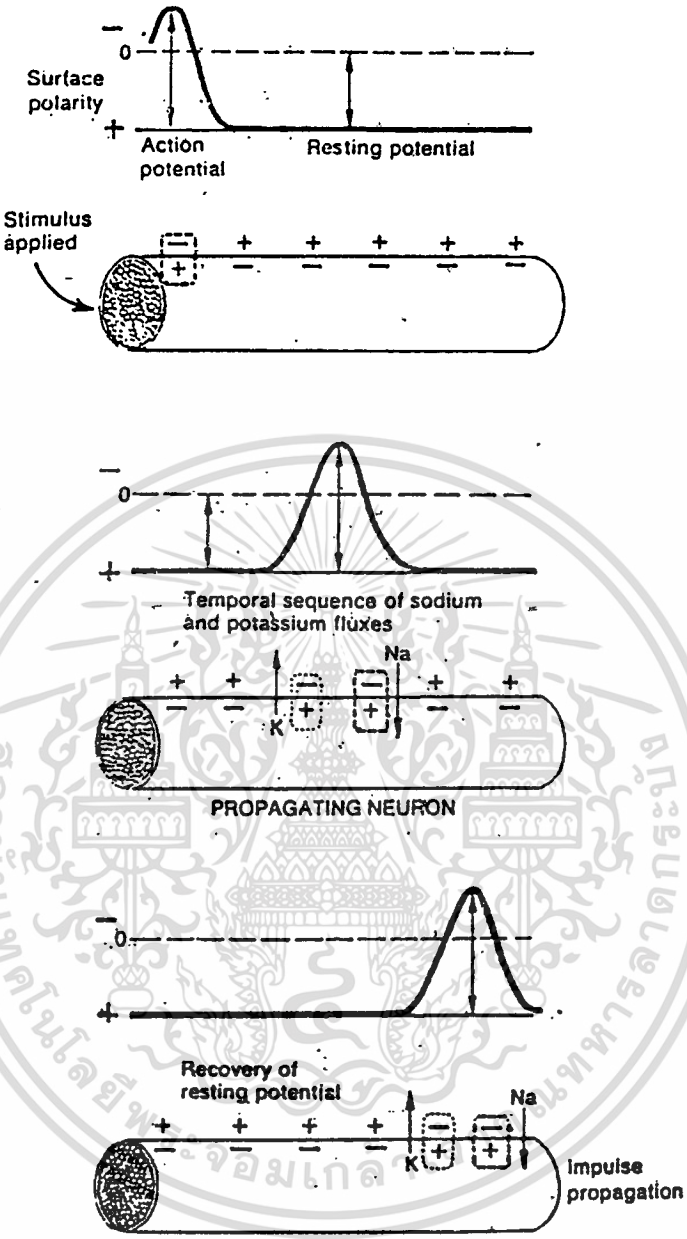
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบนี้จะเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในเส้นประสาทที่ไม่มีปลอกไมอีลินหุ้มที่เร็วที่สุดถึง 50 เท่า



รูปที่ 2-10 การเคลื่อนที่ของเซลล์ประสาทใน
(บน) เส้นประสาทที่ไม่มีปลอกไมอีลินหุ้ม
(ล่าง) เส้นประสาทที่มีปลอกไมอีลินหุ้ม

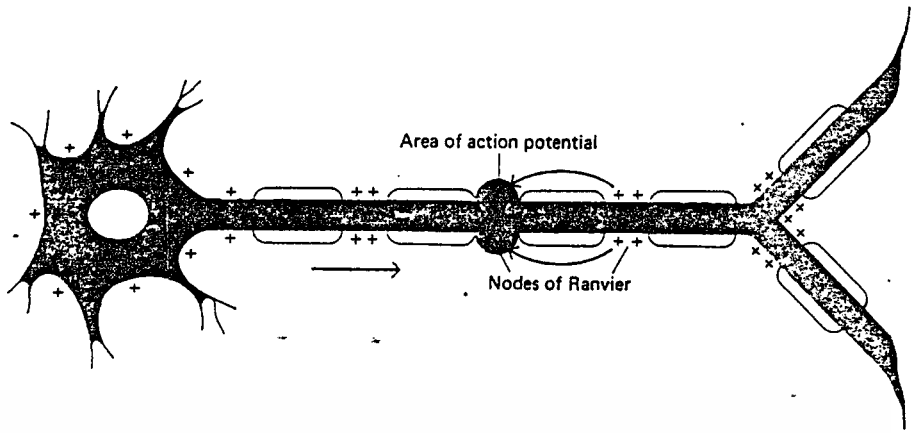
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



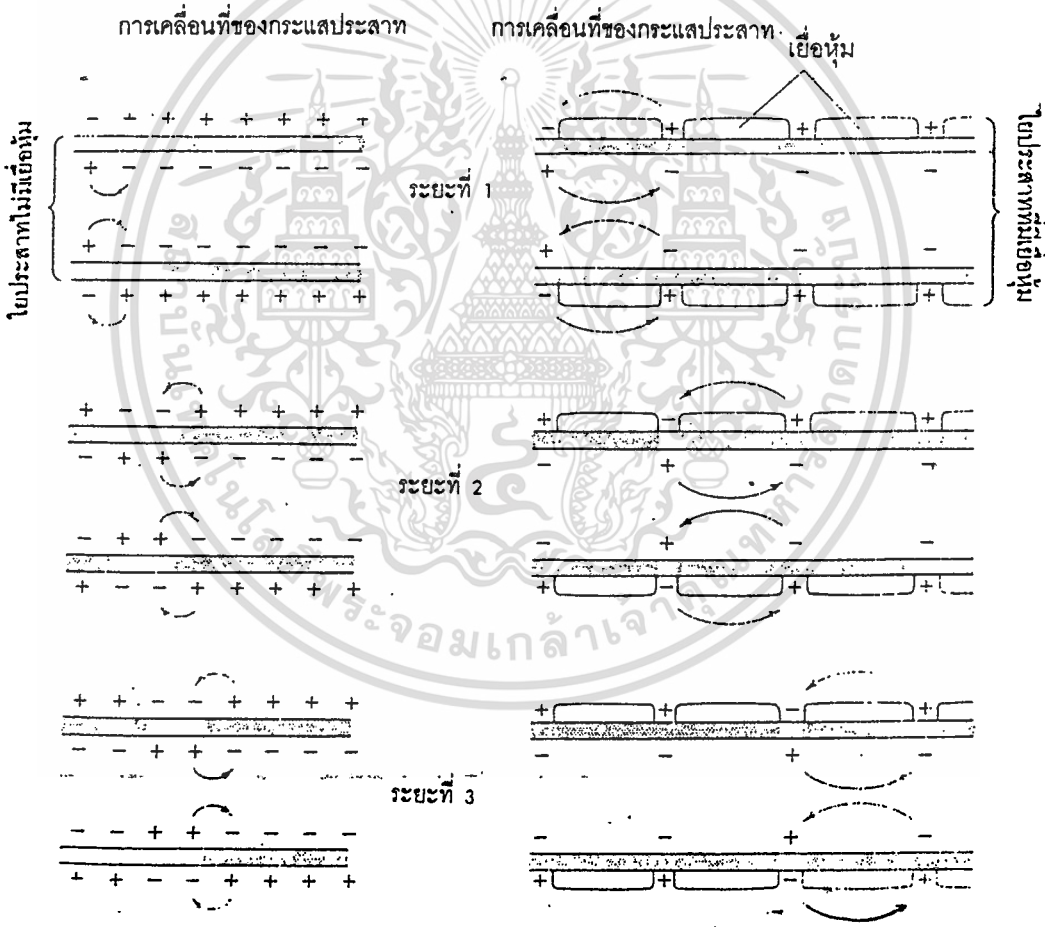
รูปที่ 2-11 แสดงการเปลี่ยนแปลงประจุ เมื่อเกิดการกระตุ้นของกระแสประสาท (Impulse) จากซ้ายไปขวา

การเกิดรีโพลาไรเซชั่นเพื่อให้ประจุเหมือนเดิม ก็เพื่อประโยชน์ สำหรับเกิดกระแสประสาทได้ใหม่ เมื่อมีการกระตุ้นอวัยวะรับสัมผัส หากไม่มีการเปลี่ยนประจุกลับหรือรีโพลาไรเซชั่น จะไม่สามารถกระตุ้นให้ส่งกระแสประสาทขึ้นใหม่ได้อีกเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-12 แสดงการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทผ่านใยประสาทที่มีเยื่อหุ้ม



รูปที่ 2-13 กระแสประสาทซึ่งเกิดการเคลื่อนที่ในใยประสาทชนิดไม่มีเยื่อหุ้ม (ซ้าย) จะเคลื่อนช้ากว่า ในใยประสาทชนิดมีเยื่อหุ้ม (ขวา) เพราะในใยประสาทชนิดนี้การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทเคลื่อนที่จากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งจึงเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในใยที่ไม่มีเยื่อหุ้ม ซึ่งต้องเคลื่อนที่ผ่านไปทุกๆ จุดบนใยประสาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

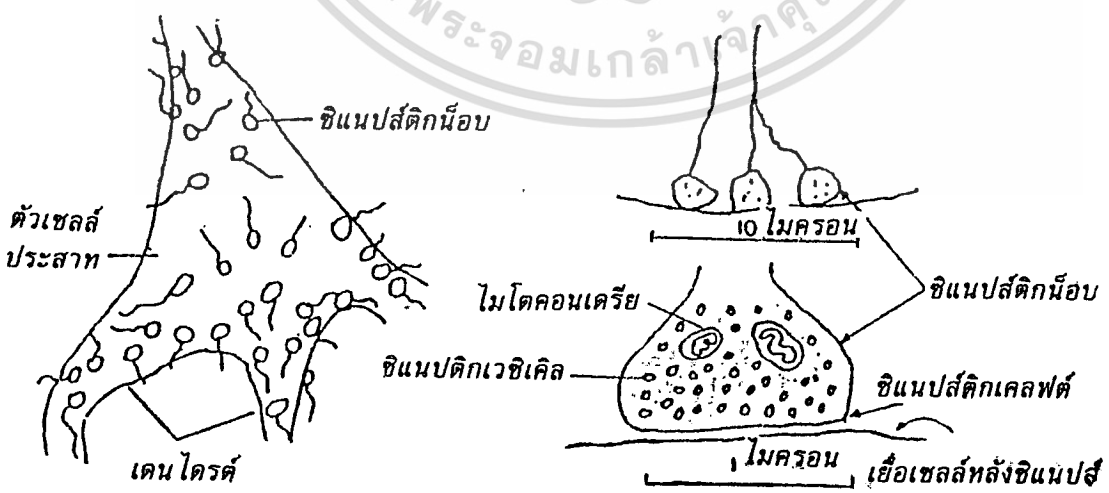
2.9 การส่งกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท

เมื่อเกิดการนำกระแสประสาทขึ้นในแอกซอนของเซลล์ที่หนึ่งแล้ว ก็จะมีการส่งกระแสประสาทไปให้แก่เดนไดรต์ของอีกเซลล์หนึ่ง ปลายของแอกซอนและเดนไดรต์ดังกล่าวมาแล้วนั้นจะอยู่ใกล้ชิดกันมาก เราเรียกการส่งกระแสประสาทนี้ว่าการไซแนปส์ (Synapse)

การไซแนปส์ หมายถึงบริเวณที่จะแสดงให้เห็นถึงหน้าที่ ที่เกิดขึ้น (ไม่ใช่ลักษณะของกายวิภาค) ระหว่างปลายสุดของแอกซอนของเซลล์ประสาทตัวที่หนึ่ง ซึ่งจะเรียกว่าเซลล์ก่อนไซแนปส์ (Presynaptic Neuron) กับเดนไดรต์ แอกซอนหรือตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง ซึ่งจะเรียกว่าเซลล์หลังไซแนปส์ (Postsynaptic Neuron) ที่นี่จะเป็นบริเวณที่ควบคุมให้มีการส่งกระแสประสาทต่อไปหรือยับยั้งการส่งกระแสประสาท หรือเปลี่ยนแปลงลักษณะของกระแสประสาท

2.9.1 ลักษณะโครงสร้างของบริเวณที่มีการไซแนปส์

ส่วนปลายสุดของแอกซอนของเซลล์ก่อนไซแนปส์ที่ขยายใหญ่ขึ้น (ดังรูป 2-14) เรียกว่าไซแนปส์ติกน็อบ (Synaptic Knob) ภายในนี้จะมีไมโตคอนเดรียมมากมาย และมีถุงเล็กๆ ที่ห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์อีกจำนวนมากมาย เรียกถุงนี้ว่าไซแนปส์ติกเวซิเคิล (Synaptic Vesicles) ภายในถุงเคมีที่เรียกว่าสารนิวโรทรานสมิตเตอร์ (Neurotransmitter Substance) สารนี้เมื่อหลั่งออกมาจะทำให้คุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์หลังการไซแนปส์เปลี่ยนแปลง ไซแนปส์ติกน็อบจะอยู่ห่างจากเยื่อหุ้มของเซลล์หลังไซแนปส์ เรียกระยะห่างนี้ว่าไซแนปส์ติกเคลฟต์ (Synaptic Cleft)

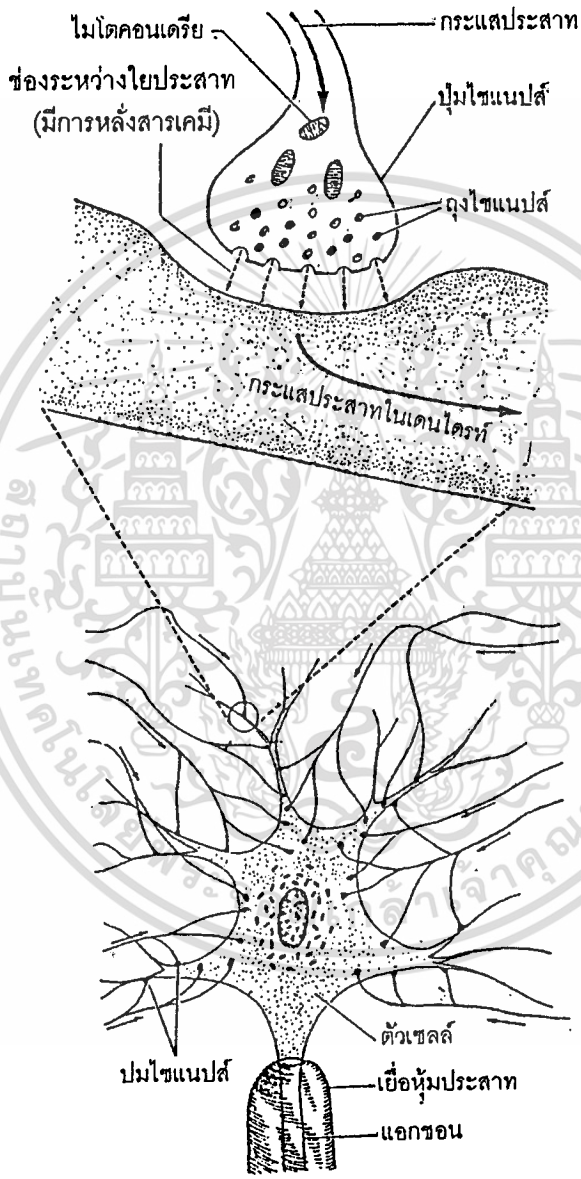


รูปที่ 2-14 ลักษณะโครงสร้างของไซแนปส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038214

ในสัตว์ชั้นสูงหรือในมนุษย์ การติดต่อกันของไซแนปส์จะใช้สารเคมีเป็นสื่อการติดต่อ ซึ่งเรียกว่าไซแนปส์ทางเคมี (Chemical Synapse) และในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง การติดต่อกันของไซแนปส์จะใช้กระแสไฟฟ้า เรียกว่าไซแนปส์ทางไฟฟ้า (electrical synapse)



รูปที่ 2-15 แผนภาพแสดงการไซแนปส์ของตัวเซลล์ก้านเดนไดรท์ (บน) เมื่อขยายปุ่มไซแนปส์ (Synaptic Knob) กับส่วนของใยประสาทอันถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไซแนปส์

เมื่อมีกระแสประสาทส่งมาที่ไซแนปส์ติกน็อบของเซลล์ก่อนไซแนปส์ จะมีผลทำให้แคลเซียมไอออนจากภายนอกเซลล์เคลื่อนที่เข้ามาในไซแนปส์ติกน็อบ เป็นเหตุให้ไซแนปส์ติกเวซิเคิลเคลื่อนที่มาติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วแตกออกจึงปล่อยสารเคมีภายในถุงออกมาในไซแนปส์ติกเคลฟต์ สารเคมีเหล่านี้จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เซลล์หลังไซแนปส์ได้ 2 แบบคือ

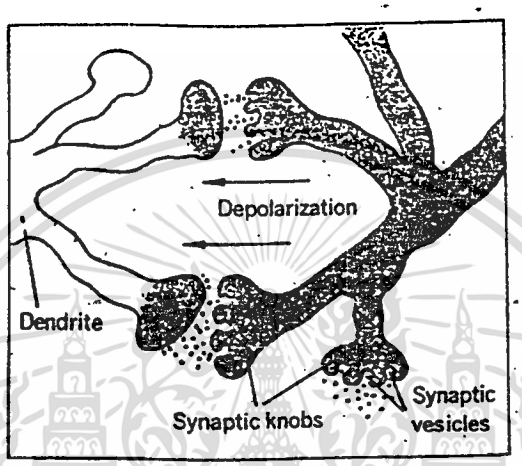
1. ถ้าเกิดการดีโพลาไรเซชันที่เซลล์หลังไซแนปส์ เรียกศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นว่า ศักดาไฟฟ้าที่เร้าเซลล์หลังไซแนปส์ (Excitatory Post-Synaptic Potential หรือ EPSP) ซึ่งเกิดจากสารเคมีที่ปล่อยออกจากซิปแนปติกเวซิเคลคือ อะซีทีลโคลีน นอร์เอพิเนฟริน โดพามีน เซอโรโทนิน สารเคมีเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปจับกับรีเซปเตอร์บนเยื่อเซลล์หลังไซแนปส์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์นี้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติชั่วคราว คือรูสำหรับที่จะให้โซเดียมไอออนผ่านเข้ามาในเซลล์เปิดออก เป็นผลให้โซเดียมไอออนเคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์ ซึ่งเป็นการนำประจุบวกเข้าไป ทำให้ความต่างศักย์ระหว่างผนังเซลล์จากเดิม -70 มิลลิโวลท์ เพิ่มเป็น -59 มิลลิโวลท์ เราเรียกค่าความต่างศักย์ขณะนี้ว่า EPSP ซึ่งถ้าการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์มากขึ้นไปอีกก็จะทำให้เกิดแอคชันโพเทนเชียลขึ้นในเซลล์ประสาทตัวหลัง โดยต้องใช้ซิแนปต์ติกน็อบตั้งแต่ 10 ถึงหลายตัวในเวลาเดียวกัน
2. ถ้าเกิดการไฮเปอร์โพลาไรเซชั่น ที่เซลล์หลังไซแนปส์ เรียกศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่า ศักดาไฟฟ้าที่ยับยั้งเซลล์หลังไซแนปส์ (Inhibitory Postsynaptic Potential หรือ IPSP) ซึ่งเกิดจากสารเคมีที่ถูกปล่อยออกมาคือ กรดแกมมาแอมิโนบิวทิลิก และ ไกลซีน สารเคมีเหล่านี้จะทำให้รูของโพแทสเซียมไอออนบนเยื่อหุ้มเซลล์ตัวหลังเปิด โพแทสเซียมไอออนจึงเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เป็นการลดประจุบวกภายในเซลล์ ทำให้ความต่างศักย์ภายในเซลล์เป็นลบมากขึ้น คือมีค่าเป็น -75 มิลลิโวลท์ เราเรียกความต่างศักย์ขณะนี้ว่า IPSP ทำให้เซลล์หลังไซแนปส์นำกระแสประสาทต่อไปไม่ได้

ขบวนการเปลี่ยนแปลงขณะเกิดกระแสประสาท ดีโพลาไรเซชั่นและรีโพลาไรเซชั่นนี้เกิดรวดเร็วมาก และการเกิดปรากฏการณ์นี้ในพวกใยประสาทมีเยื่อหุ้มจะเกิดเร็วกว่าพวกใยประสาทที่ไม่มีเยื่อหุ้ม เพราะพวกใยประสาทไม่มีเยื่อหุ้มนั้น ความจริงมีเยื่อหุ้มบางมาก (Non Myelinated) มีเยื่อหุ้ม (Myelin Sheath) จึงมีฉนวนไฟฟ้าน้อย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงประจุขณะเกิดดีโพลาไรเซชั่น และรีโพลาไรเซชั่นจึงเกิดทีละจุดต่อเนื่องไปตลอดใยประสาท แต่พวกใยประสาทที่มีเยื่อหุ้ม มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อหุ้มหนามาก ทำให้การเปลี่ยนแปลงประจุเกิดเฉพาะบริเวณโหนดออฟแรงเวียร์ (Node of Ranvier) จึงเปรียบเหมือนการกระโดดข้ามจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง ดังรูปที่ 2.13 ที่เปรียบเทียบระหว่างใยประสาทที่ไม่มีเยื่อหุ้มกับใยประสาทมีเยื่อหุ้ม

การส่งกระแสประสาทในเส้นใยประสาทที่มีเยื่อหุ้ม (Myelinated Fiber) เรียกว่าแบบไม่ต่อเนื่อง หรือแบบกระโดด (Salutatory Conduction)

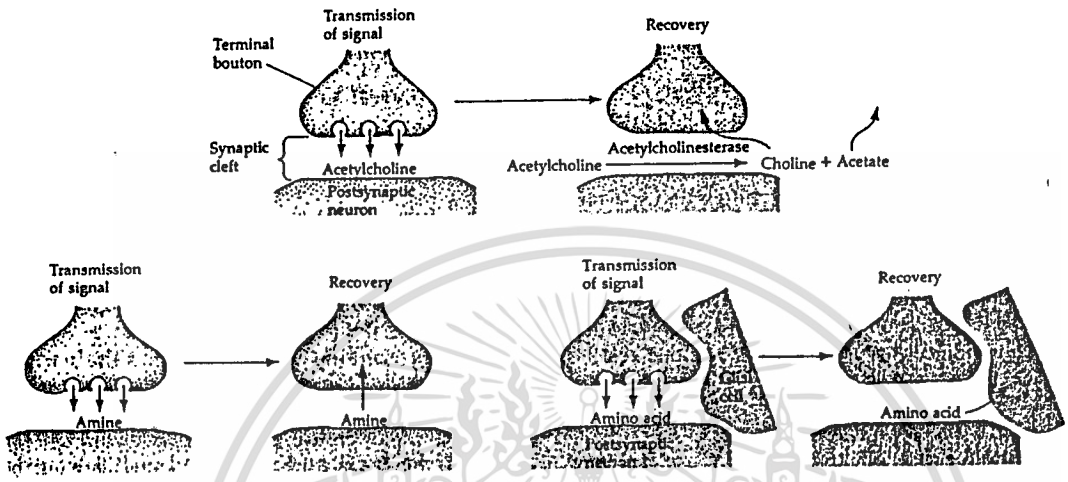


รูปที่ 2-16 แสดงการเชื่อมต่อของใยประสาท (Synapes) โดยหลั่งอะซิติลโคลีนออกมาในช่วงที่ไซแนปส์ เมื่อมีกระแสประสาทผ่าน

การต่อเนื่องของเซลล์ประสาท ไม่เหมือนกับการต่อเนื่องของสายไฟฟ้า คือเซลล์ประสาทหนึ่งที่จะส่งกระแสประสาทไปยังอีกเซลล์หนึ่งนั้น ทั้งสองเซลล์มิได้เชื่อมเป็นแท้นเดียวกัน แต่อยู่ใกล้ชิดกันมาก ช่วงที่เชื่อมอยู่ห่างกันของปลายประสาทสองเซลล์นั้นเรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse) จะพบว่ามันห่างกันก็ต่อเมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น ดังนั้น เมื่อเซลล์ประสาทไม่ต่อเนื่องกัน เมื่อเกิดกระแสประสาทผ่านใยประสาทบริเวณปลายแอกซอนของใยประสาทที่ไซแนปส์กับเดนไดรท์ (Dendrite) ของใยประสาทนั้น เกิดการหลั่งสารเคมีซึ่งเป็นพวกนิวโรฮอร์โมน (Neurohormone) ที่เรียกว่านิวโรฮิวเมอร์ (Neurohumor) ได้แก่ อะซิติลโคลีน (Acetyl Choline) เซอโรโตนิน (Serotonin) นอร์แอดรีนาลิน (Noradrenelin) เป็นต้น เมื่อนิวโร-ฮิวเมอร์ถูกสร้างขึ้นมาจะถูกทำลายโดยรวดเร็วก่อนที่จะซึมเข้าสู่กระแสเลือด นิวโรฮิวเมอร์เหล่านี้จะทำให้กล้ามเนื้อทำงานดีขึ้นหรือเลวลง แล้วแต่สารที่ปล่อยออกมา นอกจากนั้นนิวโรฮิวเมอร์ยังเป็นตัวพากระแสประสาทจากแอกซอนผ่านไซแนปส์ไปยังเดนไดรท์ของปลายประสาทอีกข้างหนึ่งของใยประสาทถัดไป การทำลายนิวโรฮิวเมอร์โดยเฉพาะพวกอะซิติล โคลีนจะทำลายเร็วมาก เพราะในเลือดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเนื้อเยื่อต่างๆ มีเอนไซม์พวกอะซิติล โคลีนเนสเตอเรส (Acetyl Cholinesterase) คอยทำลายคุณสมบัติของอะซิติลโคลีนได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังจากส่งสารนิวโรฮิวเมอร์ เช่น อะซิติลโคลีน ออกมาแล้ว สารเหล่านี้ถูกขจัดได้หลายวิธี วิธีแรก (บน) ใช้เอนไซม์ อะซิติล โคลีนเนสเตอเรส ทำลาย วิธีที่สอง (ล่าง-ซ้าย) ดูดสารกลับไปตามเดิมโดยใช้หมู่เอมีน (Amine Transfer) วิธีที่สาม (ล่าง-ขวา) เซลล์ไกล้เคียง (Glial Cells) ดึงกรดอะมิโนเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงข่ายประสาทเทียม

(Artificial Neural Network)

3.1 แนวคิดเริ่มต้น

ในการลอกเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาทภายในสมองของมนุษย์ เราจะพยายามอธิบายถึงหลักการพื้นฐานและพฤติกรรมของเซลล์ประสาทในทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีหลักการมาจากโครงข่ายของเซลล์ประสาทในทางชีววิทยาอย่างใกล้เคียงที่สุด คุณสมบัติพื้นฐานของโครงข่ายประสาทอาจจะถูกแบ่งเป็นสถาปัตยกรรมของโครงข่าย และคุณสมบัติในหน้าที่การทำงานหรือที่เรียกว่า นิวโรไดนามิค (Neurodyndmics).

สถาปัตยกรรมของโครงข่ายเซลล์ประสาทเทียม จะนิยามถึงโครงสร้างของโครงข่าย ซึ่งก็คือจำนวนของเซลล์ประสาทเทียมในโครงข่ายและลักษณะในการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาททั้งหมด. โครงข่ายประสาทจะประกอบด้วยจำนวนของเซลล์ประสาทที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นจำนวนมากโดยแต่ละเซลล์จะเรียกว่า หน่วยการประมวลผลย่อย (Processing Element) ซึ่งมีลักษณะปกติธรรมดา เช่น อินพุท , ความเข้มในการเชื่อมโยงผ่านไซแนปส์ (หรือเรียกว่าค่าน้ำหนักไซแนปส์), การกระตุ้นที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ประสาท, ผลตอบสนองเอาท์พุท และการไบอัส. นิวโรไดนามิคของโครงข่ายเซลล์ประสาทนิยามถึงคุณลักษณะของโครงข่าย ซึ่งก็คือการเรียนรู้, การตอบสนองที่เอาท์พุท , การเชื่อมโยงและเปรียบเทียบข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่องด้วยความรู้ที่มีอยู่ และการแบ่งแยกกลุ่มของข้อมูลใหม่ เป็นต้น.

โครงข่ายประสาทจะประมวลผลข้อมูลแต่จะไม่ใช้ อัลกอริทึม (Algorithm) แบบตามลำดับขั้น. การคำนวณนี้จะอยู่บนพื้นฐานของการแยกส่วนแบบขนาน (Parallel Decomposition) ของข้อมูลที่มีความซับซ้อนไปยังหน่วยพื้นฐาน ตัวอย่างเช่นสีที่ถูกผสมกันแล้วไม่สามารถที่จะแยกส่วนไปเป็นขนาดและความยาวคลื่นของสีพื้นฐาน (หรือความถี่ของสีพื้นฐาน)ได้, แต่ในทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียม สีอาจจะถูกสร้างขึ้นมาใหม่ ที่มีลักษณะของสีคล้ายคลึงกัน โดยโครงข่ายประสาทจะแยกส่วนข้อมูลที่มีความซับซ้อนไปยังหน่วยพื้นฐาน (Processing Element) และ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยพื้นฐานนี้ ความสัมพันธ์ของรูปแบบที่ป้อนเข้าโครงข่าย จะถูกจัดเก็บในส่วนของหน่วยความจำของสมอง ตัวอย่างเช่น เมื่อเรามองรูป สมองจะไม่เก็บข้อมูลของรูปในหน่วยความจำในแบบเมตริกซ์ (Matrix) ของ แต่ละพิกเซล (Pixel) ที่คล้ายกลับการสแกน (Scan) รูป ของเครื่องบันทึกวีดีโอ แต่สมองจะจัดเก็บคุณลักษณะพื้นฐานของรูป เช่นเส้น, จุด, รูปทรง, สี และความสัมพันธ์ ของรูป

3.2 โครงข่ายประสาทเทียม

การแบบจำลองของโครงข่ายจะเรียกว่า Paradigms (เป็นภาษากรีก แปลว่าตัวอย่างต้นแบบ หรือสิ่งที่สร้างได้เหมือนกับสิ่งหนึ่ง) จะถูกพัฒนาขึ้นจากนักวิชาการหลายกลุ่ม. ต้นแบบบางตัวจะเหมือนกับโครงข่ายเซลล์ประสาทในทางชีววิทยาอย่างมาก ในขณะที่แบบจำลองในลักษณะอื่น อาจจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกับโครงข่ายเซลล์ประสาทในทางชีววิทยาเท่าใดนัก. ทั้งนี้ความเข้าใจในลักษณะการทำงานและคุณลักษณะของเซลล์ประสาททางชีววิทยา จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญอย่างมากในการสร้างต้นแบบ และการประยุกต์ใช้งานที่ดีกว่า

ขบวนการทางคณิตศาสตร์ จะมีความเหมาะสมมากสำหรับเครื่องจักรที่ทำงานแบบลำดับขั้น (Sequential Computers) เช่น เครื่องจักรแบบ Von-Neumann หรือ เครื่องคอมพิวเตอร์ ที่มีหลักการทำงานอยู่พื้นฐานของคณิตศาสตร์ทางบูลีน และวนอยู่ในรอบการทำงานที่มีการดึงคำสั่งจากหน่วยความจำ (Fetch) และปฏิบัติตามคำสั่งนั้น (Execute) แต่โครงข่ายประสาทไม่ได้ทำงานในลักษณะนี้ โครงข่ายไม่รู้จักความเท่ากัน, อนุกรม, อินติเกรต และอัลกอริทึมที่มนุษย์สร้างขึ้น.

อย่างไรก็ตาม คอมพิวเตอร์คือเครื่องมือที่ดีที่สุดที่สามารถหาได้ในวันนี้ และยังมีประสิทธิภาพในความเร็วในการประมวลผลที่สูงและแม่นยำ. เราจะใช้คุณสมบัติเด่นของคอมพิวเตอร์นี้ร่วมกับแนวคิดการแก้ปัญหาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในกรณีที่อัลกอริทึมแบบลำดับขั้นใช้ไม่ได้ผล หรือมีประสิทธิภาพน้อยมาก. ขบวนการทางซอฟแวร์จะใช้ในการจำลองคุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียมและแบบปัญหาที่ต้องการ. ดังนั้นโดยแท้จริงแล้วการทำงานของระบบโดยรวมก็ยังเป็นแบบลำดับขั้น, แต่เป็นลำดับขั้น (ทางฮาร์ดแวร์) ที่แสดงถึงการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมนั่นเอง.

การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network , ANN) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะอธิบาย หน้าที่การทำงานของระบบทางชีววิทยาได้อย่างดีที่สุด. คอมพิวเตอร์สามารถจำลองรูปแบบได้อย่าง อย่างรวดเร็ว และการเฝ้าดูการทำงานและหน้าที่ของของโครงข่ายจะทำให้มีความเชื่อมั่นของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมากยิ่งขึ้น. การเปลี่ยนลักษณะแบบจำลองเป็นผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงความสามารถของโครงข่าย ตลอดจนคุณลักษณะต่างๆของโครงข่ายทั้งหมด. อย่างไรก็ตาม, ในการสร้างแบบจำลองซึ่งเลียนแบบระบบทางชีววิทยา, จะต้องศึกษา และทำความเข้าใจในระบบทางชีววิทยา ในทุกรายละเอียด.

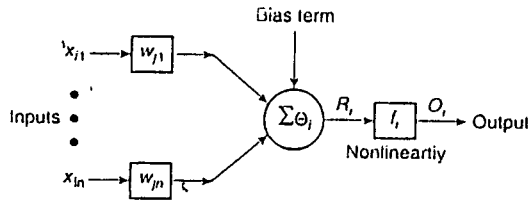
การสร้างแบบจำลองพื้นฐานของเซลล์ประสาท เราจะพิจารณาถึงหน่วยพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกสร้างขึ้น เซลล์ประสาทแต่ละตัว (หน่วยประมวลผลย่อย) ของโครงข่าย จะถูกเรียกว่าเซลล์ประสาทเทียม หรือนิวรอล (Neural) หรือโหนด (Node)

นิวรอลพื้นฐานจะมีกลุ่มของอินพุท n จำนวน โดยแทนเป็น X_i โดยที่ตัวห้อย (Subscript) i จะสามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 1 ถึง n ซึ่งแสดงถึงแหล่งข่ายของสัญญาณอินพุท โดยแต่ละอินพุท X_i จะถูกถ่วงน้ำหนัก (ในทางคณิตศาสตร์คือคูณด้วยค่าน้ำหนักไซแนปส์) ก่อนที่จะถึงลำตัวหลักของหน่วยประมวลผลย่อย. ค่าความเข้มในการเชื่อมโยง (Connection Strength) หรือแฟคเตอร์ค่าน้ำหนัก W_i และรวมทั้งเทอมของการไบอัส W_0 และค่าธเรชโฮลด์ (Threshold , θ) ซึ่งถ้าระดับสัญญาณผลรวมที่ได้บนแต่ละนิวรอลมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าระดับเธรชโฮลด์นี้แล้ว เซลล์ประสาทจะสร้างผลตอบสนองเป็นสัญญาณออกมา และเมื่อผ่านฟังก์ชั่นกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เซลล์ประสาทจะสร้างสัญญาณเอาท์พุท (Output , O) จริงออกมา โดยสัญญาณที่ได้หลังจากสัญญาณผ่านฟังก์ชั่นกระตุ้นแล้ว (O) จะเป็นอินพุทของนิวรอลตัวอื่นของโครงข่ายในชั้นถัดไป. โครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่จะประกอบขึ้นด้วยนิวรอลในลักษณะเดียวกันนี้ แต่มีจำนวนนิวรอนที่มาก ดังนั้นหมายความถึงว่าเราสามารถสร้างแบบจำลองเซลล์ประสาท 1 ตัวได้ และค่าอินพุท , ค่าน้ำหนัก, สัญญาณกระตุ้น, ค่าเอาท์พุท , ค่าเธรชโฮลด์ และฟังก์ชั่นกระตุ้นจะถูกเขียนเป็น X_{ij} , W_{ij} , R_i , O_i ,θ_i และ F_i ตามลำดับ

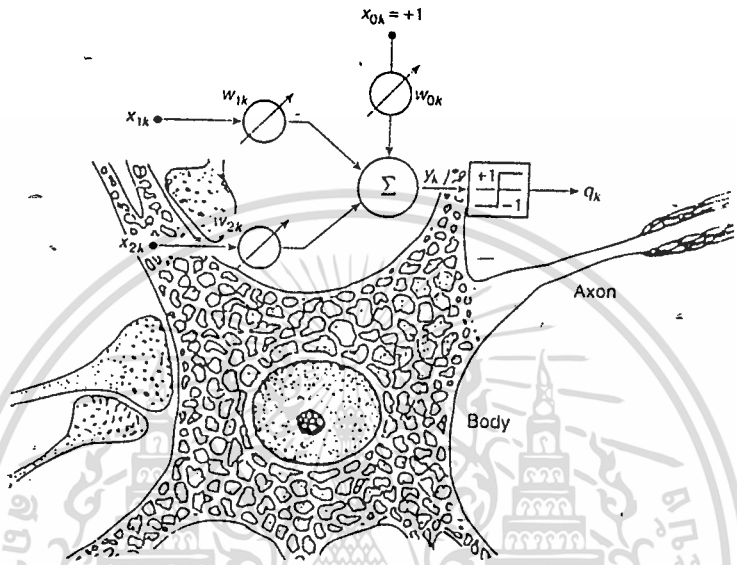
แบบจำลองพื้นฐานของเซลล์ประสาทจะอธิบายได้ดังรูปที่ 3-1 และรูปที่ 3-2 แสดงถึงความพยายามในการเปรียบเทียบแบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียมกับเซลล์ประสาทในทางชีววิทยา. ทรานเฟอร์ฟังก์ชั่น (Transfer Function) ของแบบจำลองพื้นฐานจะถูกอธิบายโดยความสัมพันธ์ของ

$$O_i = F_i(\sum_{i=1}^{n} W_{ij} X_{ij})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-1 แสดงแบบจำลองของเซลล์ประสาทพื้นฐาน

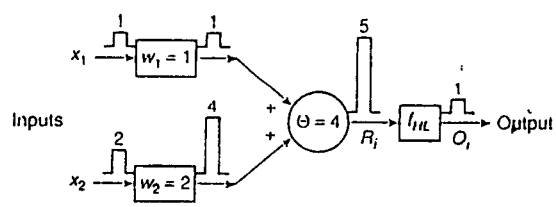


รูปที่ 3-2 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับเซลล์ประสาทในทางชีวะวิทยา

และสภาวะที่เซลล์ประสาทจะทำงานคือ

$$\sum_{i=1}^{n} W_{ij} X_{ij} \geq \theta_i$$

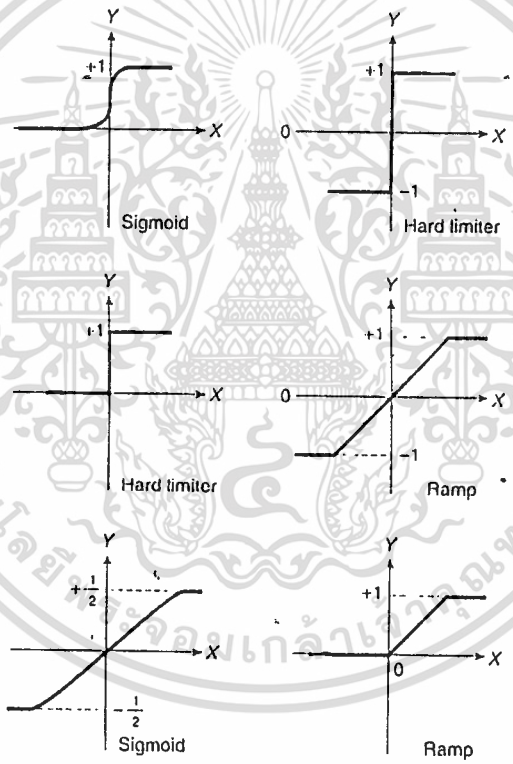
โดยที่ตัวชี้ i แสดงถึงเซลล์ประสาทในสมการ และ j แสดงอินพุทของเซลล์ประสาทจากเอาท์พุท ของนิวรอนในชั้นก่อนหน้านี้



รูปที่3-3 รูปแสดงการทำงานของนิวรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์ของการใช้ฟังก์ชั่นกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นคือทำให้แน่ใจว่าผลตอบสนองของเซลล์ประสาทจะถูกจำกัดขอบเขต นั่นคือ ผลตอบสนองจริงของเซลล์ประสาทจะมีเงื่อนไขหรือจะถูกลดทอนเท่ากับผลลัพธ์ของการกระตุ้นที่มากหรือน้อย (ดังรูปที่ 3-3) และขอบเขตของฟังก์ชั่นกระตุ้นสามารถควบคุมได้. ในทางชีววิทยา สภาวะของการกระตุ้นที่อินพุทจะถูกกระทำอย่างต่อเนื่อง แต่ฟังก์ชั่นกระตุ้นแบบที่ไม่เชิงเส้นที่ใช้ในตัวอย่างหลายๆแบบ (ดังรูปที่ 3-4) จะไม่ใช่สิ่งที่คัดลอกมาจากทางชีววิทยา ทั้งนี้จะใช้สำหรับความสะดวกในทางคณิตศาสตร์เท่านั้น ดังนั้นฟังก์ชั่นการ กระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นในแบบที่ใช้จะขึ้นอยู่บนแบบจำลองและอัลกอริทึมที่ใช้ในแบบจำลองนั้น .



รูปที่ 3-4 แสดงชนิดของฟังก์ชันกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ฟังก์ชั่นที่เป็นที่นิยมใช้กันส่วนมากคือ ฟังก์ชันที่เป็นแบบฮาร์ดลิมิตเตอร์ (Hard limiter) และ แบบซิกมอยด์ (Sigmoid). ฟังก์ชันในรูปที่ 3-4 คือฟังก์ชันที่ถูกจำกัดขอบเขตทั้งหมด โดยแต่ละฟังก์ชันจะมีค่าที่จำกัดทางเอาท์พุต โดยค่าขอบเขตบนและล่างเป็น (+1 -1), (+1/2 -1/2) และ (+1 0) เป็นต้น. ซึ่งการใช้งานฟังก์ชั่นกระตุ้นในโครงข่ายจริง จะสามารถเลือกขอบเขตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่นบีบอัดนี้ได้. ฟังก์ชันซิกมอยด์ เป็นฟังก์ชั่นกระตุ้นที่นิยมใช้กันอย่างมาก เนื่องจากมีคุณลักษณะโมโนโตมิก (Monotonic) คือฟังก์ชั่นจะให้ค่าที่มีค่าเดียว ในทุกค่าของ x , เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง และสามารถหาดิฟเฟอร์เรนเชียลได้ง่าย เพราะค่าดิฟเฟอร์เรนเชียลของฟังก์ชั่นจะอยู่ในรูปของสมการของฟังก์ชั่นปกติคือ $f'(s) = kf(s)[1-f(s)]$ ซึ่งจะมีความสะดวกในการคำนวณในอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับเป็นอย่างมาก. แต่ในฟังก์ชันฮาร์ดลิมิตเตอร์ จะไม่เป็นโมโนโตมิค เพราะฟังก์ชั่นจะไม่มีความต่อเนื่องที่จุดกำเนิด (Origin) ดังนั้นจะทำให้หาค่าดิฟเฟอร์เรนเชียลของฟังก์ชันยากขึ้น. อย่างไรก็ตามเซลล์ประสาทจะให้ผลตอบสนองอยู่ภายในขอบเขตบนและขอบเขตล่างเท่านั้น และค่าดิฟเฟอร์เรนเชียลของ $f(s)$ ในช่วงของขอบเขตบนและขอบเขตล่างจะคงที่ , $f'(s) = k$

3.3 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างมาก และอยู่ในงานวิจัยทั้งในโครงข่ายทางชีววิทยาและโครงข่ายประสาทเทียม เช่น งานวิจัยการเรียนรู้จากสัตว์ในระดับความฉลาดที่ต่างกัน , บนมนุษย์ที่มีอายุที่ต่างกัน , ระดับความฉลาดที่ต่างกัน , บนชีวิตทางทะเล และในชีวิตช่วงยุคแรกๆ. การเรียนรู้จะไม่มีข้อสรุปการประมวลผลที่ตายตัว แต่คือการประมวลผลที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมในประเภทของการแบบจำลองที่แตกต่างกัน. ดังนั้นการประมวลผลการเรียนรู้ทั้งหมดจะมีประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากัน. ในโครงข่ายประสาทเทียม แนวคิดของการเรียนรู้ของโครงข่ายจะมีพื้นฐานมาจากนักสังเกตพฤติกรรมในห้องทดลอง และนำไปสู่วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์จริง โดยเลือกชนิดของการเรียนรู้และโครงข่ายประสาทเทียมที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมากที่สุด.

ขบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายคือช่วงที่โครงข่ายจะปรับตัวเอง (ปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์) จากการกระตุ้นของอินพุทเพื่อสร้างผลตอบสนองของโครงข่ายให้ได้ตามที่ต้องการ และท้ายที่สุด (หลังจากโครงข่ายปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้แล้ว) โครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองที่ต้องการได้ในทุกๆ รูปแบบอินพุท นั่นคือโครงข่ายจะสิ้นสุดของการเรียนรู้อย่างสมบูรณ์ โดยความรู้ของโครงข่ายต่อรูปแบบอินพุททั้งหมดจะหมายถึงค่าน้ำหนักไซแนปซ์ทุกๆ ค่าในโครงข่ายนั่นเอง. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาแล้วจะประกอบด้วยขึ้นด้วยเซลล์ประสาทเทียมที่เชื่อมต่อกันในรูปแบบต่างๆ ซึ่งขบวนการเรียนรู้จะไม่เหมือนกันในแต่ละแบบ เช่นเดียวกันกับคน (ที่แตกต่างกัน) จะมีวิธีการเรียนรู้ของแต่ละคนแตกต่างกัน ดังนั้นเทคนิคการเรียนรู้ที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละแบบ จะเหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียมเฉพาะแบบเช่นกัน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเรียนรู้ในลักษณะที่มีผู้สอน (Supervised Learning)

ระหว่างช่วงการฝึกหัดโครงข่าย กลุ่มของรูปแบบอินพุทที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่ายจะถูกป้อนเข้าเป็นสัญญาณกระตุ้นอินพุท และโครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองขึ้นที่เอาท์พุท. ผลตอบสนองนี้จะถูกเปรียบเทียบกับเอาท์พุทที่ต้องการในแต่ละรูปแบบสัญญาณอินพุทที่กระตุ้น ที่เรียกว่าผลตอบสนองเป้าหมาย (Target Response) โดยถ้าผลตอบสนองจริง (จากโครงข่าย) แตกต่างจากผลตอบสนองเป้าหมายที่ต้องการ โครงข่ายจะสร้างสัญญาณความผิดพลาดขึ้น และจะใช้ค่าความผิดพลาดนี้ในการคำนวณเพื่อปรับค่าน้ำหนักไซแนปซ์ทุกๆค่าของโครงข่ายในแต่ละรอบการเรียนรู้ จนกว่าโครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองเอาท์พุทจริงเหมือนกับเอาท์พุทเป้าหมาย นั่นคือการทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุดหรือมีค่าเป็น 0 ถ้าเป็นไปได้ ขบวนการเรียนรู้ก็จะสิ้นสุดลง.

ขบวนการปรับค่าผิดพลาดให้ได้น้อยที่สุด เริ่มแรกจะต้องการวงจรในการสร้างค่าผิดพลาดนั่นคือต้องมีผู้สอน (Teacher) หรือผู้ควบคุม (Supervised) ซึ่งก็คือค่าเอาท์พุทที่ต้องการในแต่ละรูปแบบอินพุท หรืออีกนัยหนึ่งก็คือค่าผลลัพธ์ในแต่ละปัญหาใดๆ ที่ถูกแก้ไขแล้วนั่นเอง. ดังนั้นจะการเรียนรู้แบบนี้จะเรียกว่าการเรียนรู้ในลักษณะที่มีผู้สอน (Supervised learning). ความเข้าใจการเรียนรู้ในลักษณะนี้ได้มาจากการเฝ้าสังเกตในทางชีววิทยา ตัวอย่างเช่นมีการเรียนภาษา ภาษาหนึ่งที่ไม่เคยได้ยินมาก่อน เราจะได้ฟังเสียงคำอ่าน (จากผู้สอน) โดยเสียงนั้นจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของสมอง และเราจะพยายามสร้างเสียงนั้นอีกครั้งโดยการเปล่งเสียงนั้นออกมา เมื่อเราได้ยินเสียงของเรา (ลักษณะเดียวกับเอาท์พุทจริงของโครงข่าย) เราจะเปรียบเทียบเสียงนั้นในใจ ด้วยเสียงที่ถูกเก็บเอาไว้ (เสียงเป้าหมายหรือเอาท์พุทเป้าหมาย) และบันทึกความผิดพลาดเอาไว้. ถ้าความผิดพลาดนี้มาก เราจะพยายามเปล่งเสียงออกมาใหม่ จนกระทั่งมีความใกล้เคียงกับเสียงที่เราเก็บไว้มากที่สุด (นั้นคือ ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยมาก หรือ เท่ากับศูนย์) เราจึงหยุด.

เมื่อพิจารณาถึงโครงข่ายประสาทเทียม รอบในการคำนวณจะทำให้ค่าความผิดพลาดของโครงข่ายมีค่าลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ใช้ และพารามิเตอร์บางตัวในโครงข่ายที่น่าสนใจคือ เวลาที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ต่อรอบ , จำนวนของรอบที่โครงข่ายใช้ในเรียนรู้รูปแบบอินพุททั้งหมด และค่าความผิดพลาดของโครงข่ายที่ยอมรับได้ต่ำสุด. โดยเมื่อความผิดพลาดของโครงข่ายลดลงจนถึงค่านี้ (เช่น 0.001) โครงข่ายจะหยุดการเรียนรู้ และค่าน้ำหนักไซแนปส์สุดท้ายที่ได้จะหมายถึงความรู้เกี่ยวกับปัญหารูปแบบอินพุททั้งหมดที่โครงข่ายเก็บไว้ ทั้งนี้ความผิดพลาดของโครงข่ายที่มีค่าน้อยมาก หมายถึงว่าโครงสามารถจัดหมวดหมู่ปัญหาหรือแก้ไขปัญหาอย่างถูกต้องมากขึ้นนั่นเอง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเรียนรู้ในลักษณะที่ไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้ในลักษณะนี้จะแตกต่างกับการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน ตรงที่โครงข่ายจะไม่ต้องการผู้สอน นั่นคือจะไม่มีค่าเอาท์พุทเป้าหมายในช่วงระหว่างการฝึกหัด. เมื่อโครงข่ายได้รับการกระตุ้นที่แตกต่างกันออกไป หรือรูปแบบอินพุทที่แตกต่างกัน โครงข่ายจะพยายามจัดรูปแบบไปเป็นหมวดหมู่อย่างไม่มีเหตุผล. อีกนัยหนึ่งคือโครงข่ายจะจัดหาผลตอบสนองทางเอาท์พุทที่แสดงกลุ่มสัญญาณเอาท์พุทที่เข้ากัน. ถ้าโครงข่ายไม่สามารถจัดกลุ่มอินพุทให้อยู่ในกลุ่มเดิมที่สร้างไว้แล้วได้ , โครงข่ายจะสร้างกลุ่มของเอาท์พุทใหม่ขึ้นมา เช่น เมื่อมีการแสดงบุคคลที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน และต้องการจัดหมวดหมู่บุคคลเหล่านี้ให้เป็นกลุ่ม จะทำได้โดยการพิจารณาบุคคลที่มีลักษณะร่วมกัน 1 อย่างหรือมากกว่า ที่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดกับกลุ่มอื่น และเมื่อจัดกลุ่มเรียบร้อยแล้ว ถ้าพิจารณาบุคคลต่อไปแล้วไม่มีลักษณะที่เข้ากับกลุ่มที่มีอยู่ โครงข่ายก็จะสร้างกลุ่มใหม่ขึ้นมา.

ในลักษณะการเรียนรู้ชนิดนี้ โครงข่ายจะไม่ต้องการผู้สอน แต่ต้องการเพียงสิ่งชี้แนะ (Guide line) ในการพิจารณาเริ่มแรกว่าโครงข่ายจะสร้างกลุ่มได้อย่างไร ซึ่งลักษณะของกลุ่มอาจจะมีพื้นฐานจากรูปทรง , สี , วัสดุที่ประกอบอยู่ หรือ บนคุณลักษณะอื่นๆของอินพุท ดังนั้น ถ้าไม่มีตัวชี้แนะให้ โครงข่ายจะไม่ทราบว่าจะใช้คุณลักษณะชนิดอะไรในการจัดกลุ่ม ซึ่งจะทำให้การจัดกลุ่มอาจจะไม่ประสบผลสำเร็จ. ในกรณีของการจัดกลุ่มของโครงข่ายประสาทที่มีประสิทธิภาพสำหรับรูปแบบที่พิสดารหรือมีความซับซ้อน ในช่วงเริ่มต้นของการฝึกหัดโครงข่าย จะต้องมีสิ่งชี้แนะบางส่วนเพื่อช่วยในการเลือกลักษณะของกลุ่มอินพุท.

ในช่วงการทดลอง การเลือกหลักเกณฑ์ของกลุ่มจะรวมอยู่ในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ลักษณะเด่นของอินพุท โดยสิ่งชี้แนะจะมีพื้นฐานอยู่บนกลุ่มรูปแบบอินพุทนั้น.

3.6 การเรียนรู้ในลักษณะถูกกระตุ้น (Reinforced Learning)

การเรียนรู้ในลักษณะนี้ต้องการนิวรอนหนึ่งตัวหรือมากกว่านี้ที่ชั้นเอาท์พุท และลักษณะของผู้สอนจะไม่เหมือนกับการเรียนรู้ในลักษณะที่มีผู้สอน. การตรวจสอบความผิดพลาดจะไม่แสดงว่าเอาท์พุทจริงจะมีลักษณะคล้ายกับเอาท์พุทที่ต้องการ แต่จะตรวจสอบว่าเอาท์พุทจริงเหมือนกับเอาท์พุทเป้าหมายหรือไม่. ในช่วงระหว่างการเรียนรู้ สัญญาณอินพุทจะถูกส่งเข้าไปในโครงข่าย และโครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองที่เอาท์พุท โดยที่ผู้สอนจะไม่แสดงเอาท์พุทเป้าหมายไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่าย แต่จะแสดงว่า ผ่าน (Pass) หรือผิดพลาด (Fail) เท่านั้น ดังนั้นสัญญาณผิดพลาดที่ถูกสร้างขึ้นมาระหว่างช่วงการฝึกหัด คือสัญญาณทางไบนารี่ ที่แสดงว่าผ่าน หรือผิดพลาดเท่านั้น

ถ้าผู้สอนแสดงค่า " ผิดพลาด " โครงข่ายจะปรับปรุงพารามิเตอร์ใหม่อีกครั้ง และพยายามอีกจนกระทั่งได้รับผลตอบสนองเอาท์พุทที่ถูกต้อง. ในช่วงระหว่างการประมวลผลนี้จะไม่มีสัญญาณบอกถ้าผลตอบสนองทางเอาท์พุท กำลังปรับตัวไปในทิศทางที่ถูกต้อง. ดังนั้นการประมวลผลของค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่ถูกต้องตามวิธีการเรียนรู้นี้ จะแตกต่างกับขบวนการเรียนรู้ในลักษณะที่มีผู้ฝึกสอน. พารามิเตอร์บางตัวในโครงข่ายที่ควรจะเฝ้าดูคือ เวลาที่โครงข่ายใช้ต่อรอบ และจำนวนของรอบต่อรูปแบบอินพุทแต่ละแบบ.

3.7 การเรียนรู้ในลักษณะที่มีการแข่งขันกัน (Competitive learning)

การเรียนรู้ในลักษณะนี้ จะไม่เหมือนกับการเรียนรู้ในลักษณะอื่น เพราะว่าโครงข่ายแบบนี้มีเซลล์ประสาทหลายตัวที่อยู่ในชั้นเอาท์พุท ทำให้คุณลักษณะการทำงานและสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแตกต่างออกไป. เมื่อสัญญาณกระตุ้นที่อินพุทถูกป้อนเข้าสู่โครงข่าย เอาท์พุทแต่ละตัวของเซลล์ประสาทจะแข่งขันกับเอาท์พุทตัวอื่นในการสร้างสัญญาณเอาท์พุทที่มีความใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด. เอาท์พุทนี้จะกลายเป็นตัวที่มีอิทธิพลเหนือกว่าเอาท์พุทตัวอื่น ทำให้โครงข่ายหยุดการสร้างสัญญาณเอาท์พุทสำหรับการกระตุ้นนั้น และสำหรับในการกระตุ้นในรูปแบบต่อไป เอาท์พุทของนิวรอลตัวอื่นจะกลายเป็นเอาท์พุทที่มีอิทธิพลเหนือกว่า. โดยหลักการเช่นนี้ เอาท์พุทของเซลล์ประสาทแต่ละตัวจะถูกฝึกหัดให้ตอบสนองสำหรับกระตุ้นอินพุทที่ต่างกัน. การเรียนรู้ในลักษณะที่มีการแข่งขันกันนี้สามารถที่จะแสดงได้เช่นเดียวกับขบวนการสุ่มที่มีความรู้ความชำนาญเป็นพิเศษ.

3.8 กฎของเดลต้า (Delta Rule)

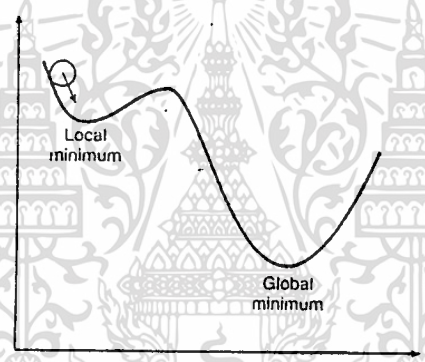
กฎของเดลต้าอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดในการปรับค่าน้ำหนักอย่างต่อเนื่อง เช่นความแตกต่างของความผิดพลาด (เดลต้า) ระหว่างค่าเอาท์พุทที่ต้องการกับค่าเอาท์พุทจริงที่ได้จากผลตอบสนองจากหน่วยประมวลผลย่อยๆของโครงข่าย โดยค่าความผิดพลาดนี้จะถูกทำให้ลดลงจากกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนรู้ของ Widrow - Hoff. ในแบบตัวอย่างของ ADALINE โดยใช้หลักการทำให้ค่ากำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด.

3.9 กฎของเกรเดียนเดสเซนต์ (Gradient Descent Rule)

ค่าของน้ำหนักไซแนปส์จะถูกปรับปรุงในแต่ละรอบการเรียนรู้โดยเป็นจำนวนสัดส่วนกับค่าดิฟเฟอร์เรนท์เชียลหรือค่าเกรเดียน (The gradient) ของความผิดพลาดระหว่างค่าเอาท์พุทที่ต้องการกับค่าเอาท์พุทจริง เทียบกับค่าน้ำหนัก โดยมีเป้าหมายคือการทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ลดลง (Descend) ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 แสดงการลาดลงของค่าความผิดพลาดไปสู่ตำแหน่งที่ต่ำที่สุด

3.10 คุณลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทคือ การเชื่อมต่อกันของหน่วยประมวลย่อยๆ ที่จำลองมาจากการทำงานของเซลล์ประสาทหนึ่งตัว โครงข่ายที่ได้สามารถที่จะปรับตัวเองในช่วงการเรียนรู้ได้ โดยในทางคณิตศาสตร์ โครงข่ายประสาทสามารถจำลองเป็นกลุ่มของสมการดิฟเฟอเรนเชียลของผลตอบสนองของหน่วยประมวลผลย่อยที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน. ซึ่งคล้ายกับทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยเสถียรภาพจะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งอาจจะเกิดการแกว่ง (Oscillation) หรือเหตุการณ์ที่ระบบเสียเสถียรภาพไปอย่างสิ้นเชิง. ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโครงข่ายในลักษณะนี้คือ การปรับค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของระบบ ซึ่งจะแสดงให้เห็นต่อไป.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 พารามิเตอร์ของโครงข่ายที่สำคัญ

ประสิทธิภาพของโครงข่ายจะแสดงถึงจำนวนของรูปแบบเอาท์พุทที่โครงข่ายให้ผลตอบสนองที่ถูกต้อง เมื่อรูปแบบอินพุทถูกป้อนเข้าสู่โครงข่ายซึ่งจะมีความสมบูรณ์ หรือสมบูรณ์เป็นบางส่วน หรือ มีสิ่งรบกวน (Noisy) ในรูปแบบอินพุท. ประสิทธิภาพในระดับ 100% จะหมายถึงสำหรับทุกๆสัญญาณกระตุ้นอินพุทที่โครงข่ายถูกฝึกหัด โครงข่ายจะสร้างรูปแบบเอาท์พุทที่ต้องการ หรือรูปแบบเอาท์พุทถูกต้องตามเป้าหมายเสมอ.

สิ่งที่ควรจะต้องพิจารณาในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม มีดังนี้

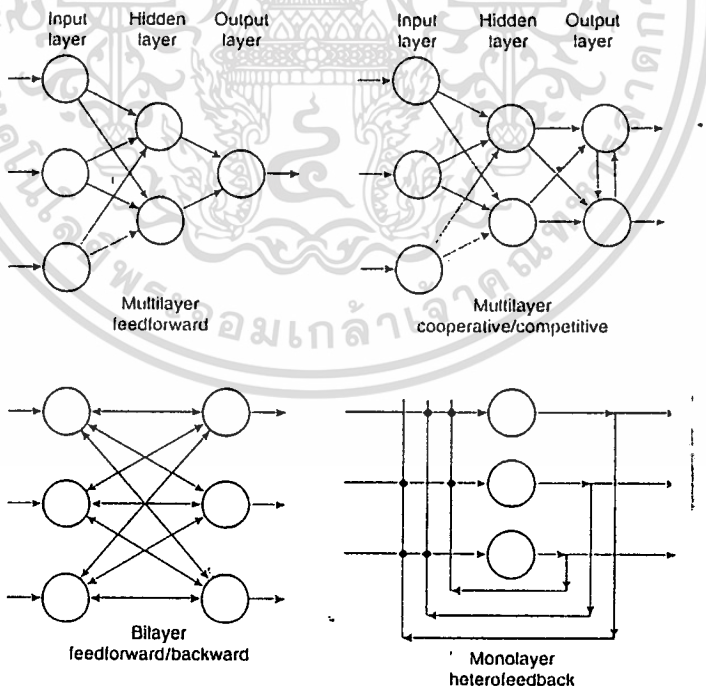
1. สถาปัตยกรรมของโครงข่าย
2. จำนวนของชั้นในโครงข่าย
3. จำนวนของนิวรอนหรือจำนวนโหนดต่อชั้น
4. อัลกอริทึมในการเรียนรู้ในการปรับตัวของโครงข่าย (ใช้เฉพาะกรณีของการเรียนรู้ในลักษณะที่มีผู้ฝึกสอน)
5. จำนวนของรอบต่อรูปแบบระหว่างการฝึกหัด
6. เวลาที่ใช้ในการคำนวณต่อรอบ
7. ความเร็วในการตอบสนองของของโครงข่าย
8. ประสิทธิภาพของโครงข่าย
9. ค่าพลาสติกซิตี้ของโครงข่าย (Network plasticity) เช่น จำนวนการผิดพลาดของเซลล์ประสาทและระดับการทำงานของโครงข่าย
10. ความจุของโครงข่าย (Network Capacity) หรือสัญญาณรูปแบบมากที่สุดซึ่งโครงข่ายสามารถที่จะเรียนรู้ได้
11. ระดับความสามารถในการปรับตัวของโครงข่าย เช่น ในส่วนขยายของโครงข่ายที่สามารถที่จะปรับตัวเองได้หลังการฝึกหัด
12. เทอมในการไบอัส (ในบางครั้งจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่เช่น +1)
13. เทอมของค่าธเรชโฮลด์ (ในบางครั้งจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่เช่น 0 หรือ 1)
14. ขอบเขตของค่าน้ำหนัก (สำหรับประสิทธิภาพที่ดีที่สุดและการทนทานต่อสิ่งรบกวนของโครงข่าย ขอบเขตนี้ควรจะถูกคำนวณโดยอยู่ในพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม)
15. การเลือกฟังก์ชั่นแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น และช่วงการทำงานของเซลประสาท
16. ระดับการทนทานต่อสิ่งรบกวนของโครงข่าย คือระดับของการเสียหายของสัญญาณกระตุ้นอินพุทที่ทำให้โครงข่ายสร้างผลตอบสนองเอาท์พุทไม่เหมือนกับเป้าหมายที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. สภาวะอยู่ตัว (Steady-State) ของโครงข่าย หรือค่าน้ำหนักไซแนปส์สุดท้ายในช่วงการเรียนรู้

3.12 แบบและลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Topologies)

โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมาก ที่ถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกันในเส้นทางที่แน่นอน รูปแบบที่ใช้กันส่วนมากจะแสดงได้ในรูปที่ 3-6 (วงกลมแสดงถึงเซลล์ประสาท) จากรูป (บน-ซ้าย) จะเป็นโครงข่ายแบบหลายชั้น. โดยปกติการกระตุ้นอินพุทจะถูกป้อนเข้าสู่ชั้นอินพุทและผลตอบสนองแต่ละหน่วยประมวลผลย่อยจะถูกส่งเป็นอินพุทต่อไปในแต่ละชั้นและผลตอบสนองเอาท์พุท (สุดท้าย) ของโครงข่ายจะแสดงที่โหนดแต่ละตัวในชั้นเอาท์พุท และชั้นระหว่างชั้นอินพุทและชั้นเอาท์พุท เรียกว่าชั้นซ่อน (Hidden Unit) ซึ่งอาจจะมีจำนวนชั้นเป็น 1 หรือมากกว่านี้ก็ได้ โดยจำนวนชั้นซ่อนที่มากขึ้นจะทำให้โครงข่ายมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงได้มากขึ้น.



รูปที่ 3-6 แสดงตัวอย่างต้นแบบของโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม I

(Artificial Neural Network Analysis I)

4.1 การเรียนรู้พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมและการโปรแกรม

(Basic Artificial Neural Network learning and Program)

อัลกอริทึมในการเรียนรู้คือวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ทุกตัว (รวมทั้งค่าธเรชโฮลด์) ในโครงข่าย โดยใช้ค่าความผิดผลาดในการตอบสนองของโครงข่ายมาเป็นข้อมูลเริ่มต้นในขบวนการเรียนรู้ของโครงข่าย. โดยปกติจะเริ่มด้วย ฟังก์ชั่นความผิดพลาด (Error Function หรือ Energy Function) ซึ่งจะถูกแสดงในเทอมของค่าน้ำหนักไซแนปส์และค่าธเรชโฮลด์ของโครงข่ายประสาท โดยมีเป้าหมายคือ ทำให้ค่าความผิดพลาดที่สัมพันธ์กับกลุ่มของค่าน้ำหนักมีค่าเป็นศูนย์ หรือมีค่าน้อยที่สุด (เพื่อความสะดวก). ซึ่งค่าน้ำหนักไซแนปส์แต่ละค่า จะได้รับส่วนแบ่งของค่าผิดพลาดนี้เท่าใด ก็ขึ้นกับว่าการเชื่อมต่อผ่านไซแนปส์นั้นๆ ส่งผลมากหรือน้อยเพียงใดสู่ผลตอบสนองของโครงข่าย. ขบวนการการเรียนรู้ของโครงข่ายนี้ จะถูกพิจารณาที่อัลกอริทึมในการปรับค่าน้ำหนักที่เหมาะสมกับแบบจำลองของโครงข่าย ซึ่งจะมีผลโดยตรงและมีความสำคัญมากกับประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของโครงข่าย.

การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระหว่างการเรียนรู้ อาจจะใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่แตกต่างกันเช่น Delta Rule , Boltzmann's Algorithm , Back - Propagation Learning Algorithm , Simulation Annealing และเทคนิคของ Markovian. อัลกอริทึมการเรียนรู้ที่นิยมใช้กันมากที่สุดกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบคำนวณไปข้างหน้า (Feed-Forward Neural Network) คือการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back - Propagation Learning Algorithm) ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการเรียนรู้และขบวนการทางคณิตศาสตร์ในบทต่อไป.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของโครงข่ายประสาทเทียม

(Artificial Neural Network Discrimination Ability)

โครงข่ายนิวรอนจะถูกฝึกหัดให้จดจำรูปแบบโดยการเรียนรู้ตามตัวอย่างที่ต้องการสอน โครงข่ายจะสามารถแยกแยะระหว่างรูปแบบที่ป้อนเข้าที่อินพุท และจะสร้างผลตอบสนองเอาท์พุทที่ต้องการ. ในการประยุกต์โครงข่ายที่จะหาเอกลักษณ์ของรูปแบบที่ถูกป้อนเข้าไปและจัดกลุ่มของรูปแบบเหล่านั้น. เช่นตัวอย่างรูปแบบ (+1 -1) , (-1 +1) , (+1 -1) และ (-1 +1) จะถูกแบ่งโดยโครงข่ายเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือ (+1 +1) และ (-1 -1). กลุ่มที่สองคือ (+1 -1) และ (-1 +1) (ปัญหา Exclusive - OR นั่นเอง). โครงข่ายจะถูกฝึกหัดให้สร้างผลตอบสนองเอาท์พุทเป็น 1 เมื่อหนึ่งในอินพุททั้งสองของกลุ่มแรกถูกป้อนเข้าสู่โครงข่าย และจะสร้างผลตอบสนองเป็น -1 เมื่อหนึ่งในรูปแบบทั้งสองของกลุ่มที่สองถูกป้อนเข้าสู่โครงข่าย.

การแยกแยะรูปแบบทั้งสี่หรือกลุ่มทั้งสองอาจจะดูเหมือนเป็นปัญหาที่ซับซ้อนเพียงเล็กน้อยและสามารถแก้ไขได้อย่างง่ายมากโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม. ในลักษณะเช่นเดียวกับจำนวนของรูปแบบและกลุ่มที่เพิ่มขึ้น โครงข่ายประสาทเทียมจะแสดงให้เห็นว่าในบางลักษณะของปัญหา โครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถเหนือกว่าเทคนิคพื้นฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป.

จำนวนของรูปแบบซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการแยกแยะได้อย่างถูกต้องจะเรียกว่า ความสามารถในการแยกแยะ (Discriminating Ability). โครงข่ายจะถูกวัดโดยจำนวนที่มากที่สุดของรูปแบบปัญหาอินพุทที่มันสามารถแบ่งแยกได้ หรือหาเอกลักษณ์ได้อย่างชัดเจน และโครงข่ายจะจัดหาผลตอบสนองเพียงคำตอบเดียว. ความสามารถของโครงข่ายนี้จะประยุกต์ใช้อย่างกันอย่างมากในปัญหาการจดจำรูปแบบ.

การทดสอบการแยกแยะปัญหาพื้นฐานอย่างง่ายคือ Exclusive-OR. ซึ่งจะพบว่าบนแบบจำลองของเปอร์เซปตรอน (Perceptron) เริ่มต้นของ Rosenblatt ไม่สามารถแก้ไขปัญหานี้ (แต่เปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้นที่ถูกพัฒนาขึ้นในเวลาต่อมาสามารถแก้ไขปัญหาเช่นเดียวกันนี้ได้). และความสามารถในการแยกแยะของโครงข่ายอยู่บนพื้นฐานของคุณลักษณะความเป็นเชิงเส้น (Linear) หรือไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ของโครงข่าย ซึ่งก็คือลักษณะของฟังก์ชั่นกระตุ้นที่หน่วยประมวลผลย่อยหรือนิวรอนแต่ละตัวใช้นั่นเอง.

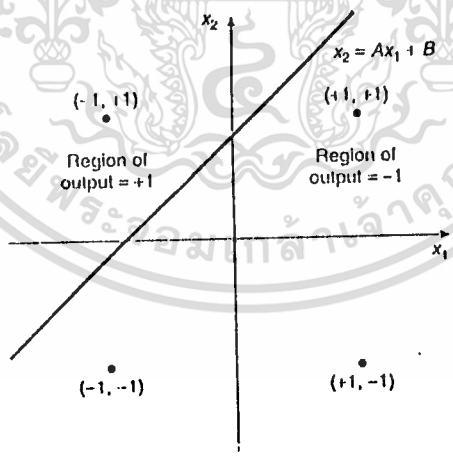
4.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งกลุ่มได้อย่างเชิงเส้น

(Linearly Separable Artificial Neural Networks)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการอธิบายโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถแบ่งแยกปัญหาได้อย่างเชิงเส้น เมื่อพิจารณารูปแบบอินพุทที่มีลักษณะไบนารี่ (+1 +1) , (-1 +1) , (+1 -1) และ (-1 -1) และโครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองเป็น 1 เมื่อรูปแบบอินพุท (-1 +1) ถูกป้อนเข้าสู่โครงข่าย เรียกว่าเป็นกลุ่ม 1 และโครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองเป็น 0 เมื่อรูปแบบ (+1 -1) , (+1 +1) และ (-1 -1) ตัวใดตัวหนึ่งทั้งสามตัว ถูกป้อนเข้าสู่โครงข่าย เรียกว่าเป็นกลุ่ม 0. รูปแบบอินพุททั้งสี่ สามารถพิจารณาได้ในระนาบสองมิติ เพราะรูปแบบอินพุท มีจำนวนอินพุทเท่ากับ 2 เพราะฉะนั้น ในรูปแบบอินพุทที่มีสามอินพุท เช่น (011) ควรจะพิจารณาในรูปแบบ 3 มิติ และในกรณีที่อินพุทมีจำนวนที่มากกว่า 3 จะไม่แสดงอยู่ในรูปของกราฟมิติ เนื่องจากมีความยุ่งยากในทางกราฟ แต่จะแสดงให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์แทน.

จากรูปที่ 4-1 จะพบว่าเส้นตรงสามารถแบ่งแยกส่วนของระนาบ 2 มิติได้เป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนก็คือกลุ่มของปัญหาที่ถูกแยกแยะได้แล้วนั่นเอง และเมื่อพิจารณาจากสมการเส้นตรงโดยทั่วไปคือ $y = Ax + B$ โดยสำหรับตัวอย่างนี้เส้นตรงจะถูกสมมุติโดยฟังก์ชั่น $x_2 = 1.1x_1 + 0.8$ โดยแยกระนาบ x_1, x_2 เป็นเป็น 2 ส่วน ตามกลุ่มที่ต้องการ โดยพื้นฐานนี้ ถ้าเรามีโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งสามารถหาเอกลักษณ์หรือแบ่งแยกจุดทั้ง 4 เป็นกลุ่มที่ต้องการ 2 กลุ่ม ดังนั้นเราจะได้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีความสามารถในการแก้ปัญหารูปแบบนี้ได้.



รูปที่ 4-1 แสดงความสามารถในการแบ่งแยกกลุ่มรูปแบบอินพุททั้งสี่อย่างเป็นเชิงเส้น

เราสามารถสร้างโครงข่าย ซึ่งถูกอธิบายด้วยผลของสมการ $x_2 = Ax_1 + B$ โดย A และ B คือพารามิเตอร์ของโครงข่าย ดังนั้นถ้าเราออกแบบโครงข่ายที่มีพารามิเตอร์ A = 1.1 และ B =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8. โครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองเอาท์พุทที่ต้องการสำหรับรูปแบบปัญหาทั้ง 4 ได้อย่างถูกต้อง ในความเป็นจริงจะพบว่ามีจำนวนพารามิเตอร์ A และ B ที่จะสร้างผลตอบสนองที่ต้องการ (แก้ปัญหาได้ครบทั้ง 4 รูปแบบ) มีมากจนนับไม่ถ้วน ซึ่งก็คือมีเส้นตรงจำนวนมากที่ยังสามารถแบ่งกลุ่มของปัญหาทั้งสองได้อย่างเป็นเชิงเส้น. โดยค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายที่สามารถแก้ปัญหาได้ดีที่สุด จะคำนวณได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาอินพุทของนิวรอน 2 ตัว สภาวะธเรชโฮลด์ ที่วิกฤติจะหาได้ดังนี้

$$O_i = x_1 w_{i1} + x_2 w_{i2} - \theta_i = 0$$

ซึ่งจะได้

$$x_2 = -\left[\frac{w_{i1}}{w_{i2}}\right] x_1 + \frac{\theta_i}{w_{i2}}$$

$$= Ax_1 + B$$

เมื่อ $A = -\left[\frac{w_{i1}}{w_{i2}}\right]$ คือความชันของสมการ

$B = \frac{\theta_i}{w_{i2}}$ คือ จุดตัดของเส้นตรงบนแกน x_2

จากความสัมพันธ์เหล่านี้ พารามิเตอร์ θ_i, w_{i1}, และ w_{i2} จะหาค่าได้ สำหรับ $A = 1.1$ และ $B = 0.8$ และเมื่อปรับ θ ให้เป็นค่าธเรชโฮลด์ที่มีค่าน้อย (0.2) ซึ่งจะได้ค่า $w_{i1} = 2.5$ และ $w_{i2} = -2.75$. ถ้าสังเกตุพารามิเตอร์ของน้ำหนักเราจะพบว่าค่าของน้ำหนักตัวหนึ่งจะเป็นลบ (w_{i2}) ซึ่งในการประยุกต์ในทางอิเลคโทรนิคส์ ค่าของน้ำหนักจะถูกแทนในโครงข่ายด้วยความต้านทาน ซึ่งจะมีค่าเป็นบวกเท่านั้น และรูปแบบอินพุทที่เป็นบวกและลบจะถูกแสดงโดยการใช้การต่อวงจรของออฟแอมป์ (Operation -Amplifier).

จากตัวอย่างข้างต้นจะพบว่านิวรอนเพียง 1 ตัวสามารถที่จะแบ่งหมวดหมู่ของกลุ่มปัญหาออกเป็นลักษณะเชิงเส้นได้ถ้ากลุ่มของปัญหานั้นสามารถที่จะแยกเป็นสองกลุ่มได้อย่างเป็นเชิงเส้น (Linearly Separable) และปัญหาไม่มีความซับซ้อนมากนัก และถ้าปัญหามีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นก็สามารถใช้จำนวนนิวรอนที่มากขึ้นในการแก้ไขปัญหานั้น.

4.4 โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งแยกได้อย่างเชิงเส้นหลายตัว

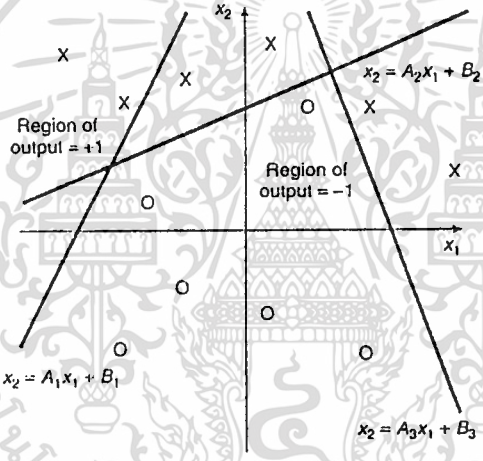
(Multilinear Artificial Neural Network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

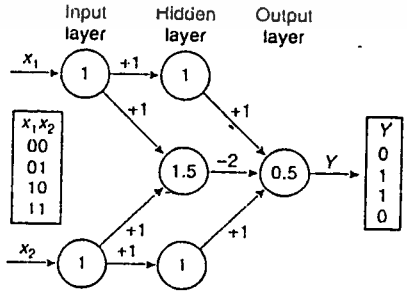
4.4 โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งกลุ่มได้อย่างเชิงเส้นหลายตัว

(Multilinear Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้จะสามารถแบ่งแยกกลุ่มของจุดบนระนาบ $x_2\ x_1$ ได้เป็น 2 กลุ่มหรือมากกว่านั้น. โครงข่ายประกอบด้วยชุดของฟังก์ชั่นที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งแต่ละฟังก์ชั่น จะมีความชันและจุดตัดแกนที่ต่างกัน ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 4-2 , และตัวอย่างในรูป 4-3 เป็นปัญหาในลักษณะ Exclusive - OR. ที่โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed- Forward Multilinear จะทำงานซึ่งโครงข่ายได้รับการฝึกหัดแล้ว ตัวเลขในวงกลมแสดงถึงค่าธเรชโฮลด์ของนิวรอนนั้นๆ และจำนวนบนเส้นลูกศรแสดงถึงค่าน้ำหนักของการเชื่อมโยงระหว่างนิวรอน.



รูปที่ 4-2 แสดงความสามารถในการแบ่งแยกกลุ่มรูปแบบอินพุทสองสี่อย่างเป็นเชิงเส้น โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งกลุ่มได้อย่างเชิงเส้นหลายตัว



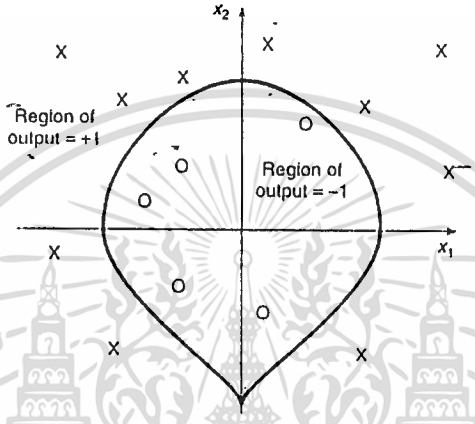
รูปที่ 4-3 แสดงการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ไขปัญหา Exclusive-OR.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งกลุ่มได้อย่างไม่เป็นเชิงเส้น

(Nonlinear Separable Artificial Neural Networks)

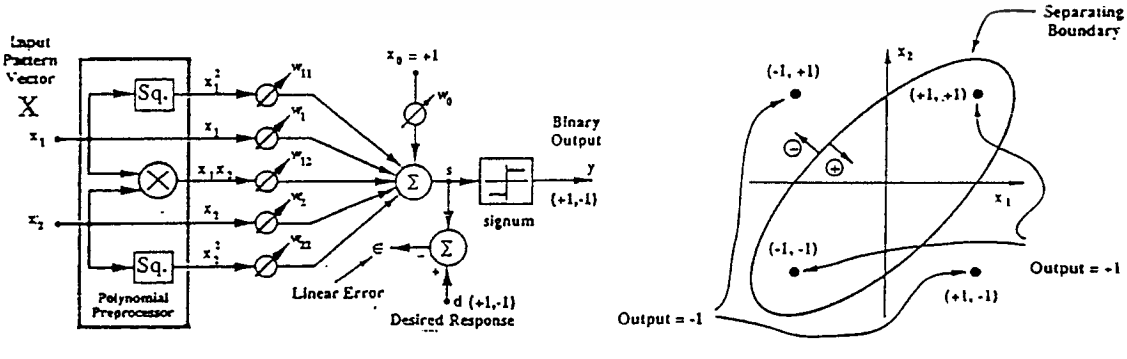
ในโครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งกลุ่มปัญหาได้อย่างไม่เป็นเชิงเส้นนี้ โครงข่ายจะมีการทำงานอยู่บนพื้นฐานของฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้นในหน่วยการประมวลผลย่อยหรือนิวรอนของโครงข่ายแต่ละตัว โดยขึ้นอยู่บนความไม่เป็นเชิงเส้นของอินพุทซึ่งอาจจะมีความซับซ้อนมาก ดังตัวอย่างดังรูป



รูปที่ 4-4 แสดงการแบ่งกลุ่มปัญหาที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่แบ่งกลุ่มได้ไม่เป็นเชิงเส้น

ในกรณีที่ทราบรูปแบบอินพุทและเอาท์พุทเป้าหมายอย่างชัดเจน เราสามารถสร้างแบบจำลองของเปอร์เซปตรอนขึ้นใหม่โดยมีพื้นฐานมาจากสมการคณิตศาสตร์ เช่นในกรณีของปัญหาดังรูป 4-3 (ปัญหา Exclusive-OR) โดยสามารถแบ่งกลุ่มปัญหาโดยใช้สมการวงรี แทนการใช้สมการเส้นตรงหลายเส้นในการแบ่งกลุ่ม โดยสภาวะธเรชโฮลท์ที่วิกฤติของระบบดังรูป 4-4 แสดงได้เป็น

$$s = w_0 + x_1 w_1 + x_1^2 w_{11} + x_1 x_2 w_{12} + x_2^2 w_{22} + x_2 w_2 = 0$$



รูปที่4-5 แสดงการแบ่งกลุ่มปัญหาที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นจากระบบที่มีเปอร์เซปตรอนหนึ่งตัว โดยมีพื้นฐานจากการวิเคราะห์ในทาง คณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม II

(Artificial Neural Network Analysis II)

5.1 แบบจำลองของ McCulloch - Pitts

Warren McCulloch นักชีววิทยา และ Walter Pitts นักสถิติ ได้ร่วมกันแสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของนิวรอนทางชีววิทยาในทางอุดมคติเพียงตัวเดียว เป็นครั้งแรกในปี 1943 และรู้จักกันในชื่อ McCulloch - Pitts Model โดยแบบจำลองมีลักษณะที่ง่าย , ไม่มีการเรียนรู้หรือการปรับค่า และเป็นพื้นฐานในพัฒนาแบบจำลองในการประยุกต์ใช้งานกับปัญหาการจดจำรูปแบบต่อไป.

ในแบบจำลองนี้ อินพุทแต่ละตัวจะได้รับการกระตุ้น x_i ซึ่งจะถูกถ่วงน้ำหนักไซแนปส์ (โดยการคูณ) ค่าน้ำหนักไซแนปส์ w_{ij} แสดงถึงความเข้มการเชื่อมโยงระหว่างไซแนปส์, ค่าอินพุทที่ถูกถ่วงน้ำหนักไซแนปส์แล้วจะถูกรวมกัน โดยถ้ามีค่าถึงระดับธเรชโฮลด์ที่แน่นอน สัญญาณเอาท์พุทจะถูกสร้างขึ้น และจะส่งไปสู่ทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งแสดงได้โดย

$$o_i = f\left(\sum_{i=1}^{N} (x_{ij} w_{ij}) - \theta_i \right)$$

โดย x_{ij} คือ สัญญาณที่ป้อนเข้ามา หรือสัญญาณกระตุ้นที่อินพุท j บนนิวรอนลำดับ i.

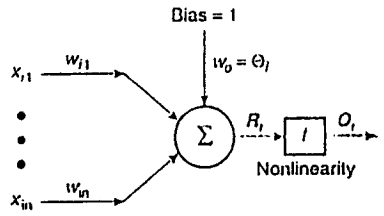
f คือ ฟังก์ชั่นที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น

o_i คือ ผลตอบสนองเอาท์พุทของนิวรอนลำดับ i.

N คือ จำนวนของสัญญาณกระตุ้นอินพุททั้งหมด

ในแบบจำลองนี้ เทอมการไบอัส θ_i และค่าน้ำหนักไซแนปส์ w_{ij} จะสมมุติว่าเป็นค่าในสภาวะคงตัวแล้ว (Steady State) ซึ่งก็คือค่าน้ำหนักไซแนปส์ค่าสุดท้ายในช่วงการเรียนรู้ของนิวรอนต่อรูปแบบอินพุททั้งหมดแล้ว.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5 - 1 แสดงแบบจำลองของนิวรอนเทียม

5.2 เปอร์เซปตรอน (The Perceptron)

แบบจำลองของ McCulloch - Pitts คือระบบอย่างง่ายที่มีลักษณะที่ไม่มีการป้อนกลับของสัญญาณ (Open-Loop) ซึ่งมีจุดประสงค์เดียวเท่านั้นคือการจำลองเซลล์ประสาทเพียงตัวเดียว ไม่มีลักษณะทางกลในการเปรียบเทียบผลตอบสนองเอาท์พุทที่ต้องการ ดังนั้นจะไม่มีการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์และไม่มีการเรียนรู้. แต่เมื่อมีการป้อนกลับของสัญญาณต่างๆ เช่นสัญญาณความผิดพลาด จะทำให้แบบจำลองเรียนรู้รูปแบบอินพุทได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับจะใช้ในการควบคุมที่สามารถปรับได้ ดังนั้น จึงเป็นจุดเริ่มต้นของนักวิจัยที่จะพัฒนาแบบจำลองขึ้นใหม่บนพื้นฐานของแบบจำลอง McCulloch - Pitts โดยมีการเรียนรู้และการปรับตัวของแบบจำลอง เช่น รูปแบบของ Perceptron โดย Frank Rosenblatt

เปอร์เซปตรอน คือแบบจำลองที่ต้องการการเรียนรู้แบบลักษณะที่มีผู้สอน นั่นคือจะเป็นระบบการจัดกลุ่มรูปแบบ และสามารถแบ่งกลุ่มรูปแบบได้อย่างเหมาะสม ทั้งที่มีสิ่งรบกวนในอินพุท กลไกในการเรียนรู้ของเปอร์เซปตรอนจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของข้อผิดพลาดระหว่างเป้าหมายและข้อมูลเอาท์พุทจริงของเปอร์เซปตรอนในช่วงระหว่างการเรียนรู้

สำหรับทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นของเปอร์เซปตรอน Rosenblatt จะใช้ฟังก์ชั่นกระตุ้นที่เป็นลักษณะฮาร์ด - ลิมิตเตอร์ (Hard Limiter) ที่มีลักษณะดังนี้

$$f_{HL}(y) = 1 \quad \text{สำหรับ } y > 0$$
$$= 0. \quad \text{สำหรับ } y \le 0$$

โดยเทอมไบอัสโดยทั่วไปจะตั้งค่าไว้ที่ 1 และค่าไบอัสของน้ำหนักไซแนปส์ w_0 จะรวมไว้ในส่วนของเวกเตอร์อินพุท นั่นคือเวกเตอร์อินพุทจะเป็น

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \dots x_n & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างการฝึกหัดเปอร์เซปตรอน เอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองของเปอร์เซปตรอน (O) จะถูกปรับเทียบกับเอาท์พุทเป้าหมาย (T) ในแต่ละรูปแบบอินพุท และความแตกต่างที่เกิดขึ้น หรือ สัญญาณความผิดพลาด (E) จะถูกใช้ในการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ ที่เป็นพื้นฐานบนขบวนการเรียนรู้ (ดังรูปที่ 5-2). สัญญาณความผิดพลาด (E) ของเปอร์เซปตรอน แสดงได้เป็น

$$E = T - O$$

การเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักไซแนปส์ จะถูกคำนวณได้จากทฤษฎีของเกรเดียนเดสเซนต์

$$\Delta w = \eta[T - f(WX)]X$$

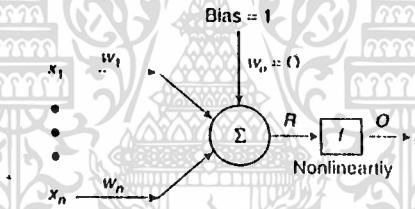
เมื่อ X คือเวกเตอร์อินพุทที่รวมเทอมการไบอัสไว้

W คือเวกเตอร์ของค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่รวมทั้งค่าธเรชโฮลด์ของนิวรอน

η คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

และเมื่อมีการปรับปรุงค่าน้ำหนักไซแนปส์ใหม่

$$w_{(k+1)} = w_{(k)} + \eta[T - f(w_{(k)}X)]X$$



รูปที่ 5-2 แสดงแบบจำลองเปอร์เซปตรอน 1 ตัว

ก่อนที่จะเริ่มต้นฝึกหัดเปอร์เซปตรอน (หรือแบบจำลองอื่นๆ) ควรต้องมีการตรวจสอบเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

1. เลือกกลุ่มของเวกเตอร์อินพุท { x }.
2. เลือกกลุ่มของเอาท์พุทเป้าหมาย {O} (1 เอาท์พุทเป้าหมาย สำหรับ แต่ละเวกเตอร์อินพุท)
3. เลือกค่าอัตราการเรียนรู้ที่เป็นค่าบวกและมีค่าน้อย (η)
4. เลือกฟังก์ชั่นกระตุ้นที่มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น (ถ้าเลือกฟังก์ชั่นซิกมอยด์ ดังนั้นจะต้องเลือกค่าแกน (Gain) ที่มีค่าคงที่ของฟังก์ชั่นกระตุ้น)
5. หลักการตัดสินใจหยุดขบวนการฝึกหัดโครงข่าย โดยใช้การกำหนดค่าความผิดพลาดของเอาท์พุทจริงที่มีค่าน้อยๆที่สามารถยอมรับได้ (หรืออาจจะเป็น 0) เมื่อขบวนการฝึกหัดมีค่าความผิดพลาดถึงจำนวนนี้ ก็จะหยุดขบวนการฝึกหัดลง. การหยุดอีกวิธีหนึ่งคือการตั้งค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุดของรอบการคำนวณ เนื่องจากการฝึกหัดเปอร์เซปตรอนอาจจะทำให้ค่าความผิดพลาดไม่ลู่เข้าหรือใช้จำนวนรอบในการฝึกหัดที่สูงเกินไป อย่างไรก็ตาม วิธีการหยุดขบวนการฝึกหัดแบบหลังนี้จะไม่ได้หมายถึงว่าผลลัพธ์ของค่าน้ำหนักนั้นอยู่ในสภาพคงตัว

และเมื่อข้อกำหนดข้างต้นมีความสมบูรณ์แล้ว จึงเริ่มขบวนการฝึกหัดโครงข่ายที่มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าธเรชโฮลด์ และค่าน้ำหนักไซแนปส์โดยตั้งค่า $w_i(0)$ และ θ เป็นค่าสุ่มที่มีจำนวนน้อย.
2. ป้อนรูปแบบอินพุท x_p และพิจารณาเอาท์พุทเป้าหมาย T_p ที่สอดคล้องกัน เมื่อ P คือจำนวนของรูปแบบอินพุท.
3. คำนวณค่าเอาท์พุทจริง (O)จาก

$$O_{(k)} = f\left[\sum_{i=0}^{n} w_{j(k)} x_{j(k)}\right]$$

หรือ ในรูปของเวกเตอร์

$$O_{(k)} = f(w^t(k)x)$$

9. ปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์โดยใช้ความสัมพันธ์ของรอบการฝึกหัด

$$w_{(k+1)} = w_{(k)} + \eta\left[T_{(k)} - w_{(k)}x_{(k)}\right]x_{(k)} \quad \text{สำหรับ } 0 < k \le N-1$$

และค่าเอาท์พุทของเปอร์เซปตรอนจะถูกต้องในทุกรูปแบบอินพุท เมื่อค่าน้ำหนักไซแนปส์และค่าธเรชโฮลด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ในสภาวะคงตัว.

10. กลับไปยังขั้นตอนที่ 7-9

5.3 เปอร์เซปตรอนที่ต่อกันแบบหลายชั้น (Multilayer Proceptron)

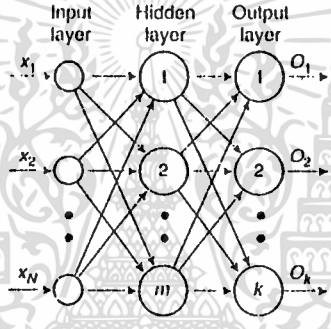
โดยปกติเปอร์เซปตรอนที่ต่อกันแบบหลายชั้น (MLP) จะประกอบด้วยเปอร์เซปตรอนหลายๆตัวในโครงสร้างที่เป็นลำดับชั้น. โดยอยู่ในรูปแบบของการคำนวณไปยังชั้นข้างหน้า ซึ่งโครงข่ายอาจจะมีชั้นซ่อนจำนวนหนึ่งชั้นหรือมากกว่า ที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุทกับชั้นเอาท์พุท (ดังรูป 5-3). จำนวนของชั้นซ่อนและจำนวนของนิวรอนในแต่ละชั้นจะมีค่าไม่คงที่ แต่ละชั้นอาจจะมีจำนวนนิวรอนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่บนการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งจะเป็นคำถามที่ว่า ผู้พัฒนาจะต้องใช้จำนวนชั้นซ่อนจำนวนเท่าใด และจำนวนนิวรอนต่อชั้นควรถูกเลือกเป็นเท่าใด สำหรับการประยุกต์ใช้งาน. โดยวิธีทั่วไปจะใช้ขบวนการตัดและพยายาม (Cut - and - Try Process) นั่นคือใช้นิวรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เยอะๆ ไว้ก่อน แล้วค่อยๆ ลดลงมาจนได้จำนวนที่น้อยที่สุดที่โครงข่ายประสาทเทียมยังคงเรียนรู้ได้ในทุกรูปแบบอินพุท โดยเทคนิคนี้จะเรียกว่า พรุนนิง (Pruning).

วิธีหนึ่งที่จะทำให้แน่ใจว่าตัวอย่างที่ใช้ในขบวนการฝึกหัดโครงข่ายนั้นพอที่จะเป็นตัวแทนข้อมูลทั้งหมดได้ ก็คือพยายามใช้ตัวอย่างที่มีจำนวนมากในการฝึกหัดโครงข่าย เพื่อที่ว่าความรู้ที่มากขึ้นนั้นจะเป็นข้อมูลในการสร้างผลตอบสนองของโครงข่ายได้ดีขึ้น ในกรณีที่มีการกระตุ้นอินพุทที่โครงข่ายไม่เคยเรียนรู้มาก่อน.

จากรูปแบบของเปอร์เซปตรอนหนึ่งตัวที่สามารถสร้างการตัดสินใจได้เป็น 2 ส่วน และเมื่อต่อเปอร์เซปตรอนเป็นแบบสองชั้น ทำให้สามารถที่จะสร้างขอบเขตการตัดสินใจที่มีลักษณะเป็นส่วนที่เว้าบูน (หรือเป็นหลายเหลี่ยม) ได้ , และเปอร์เซปตรอนแบบสามชั้น สามารถสร้างขอบเขตของการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนอย่างมากในรูปแบบอินพุทได้.



รูปที่ 5 -3 การแสดงเปอร์เซปตรอนที่ต่อแบบหลายชั้น

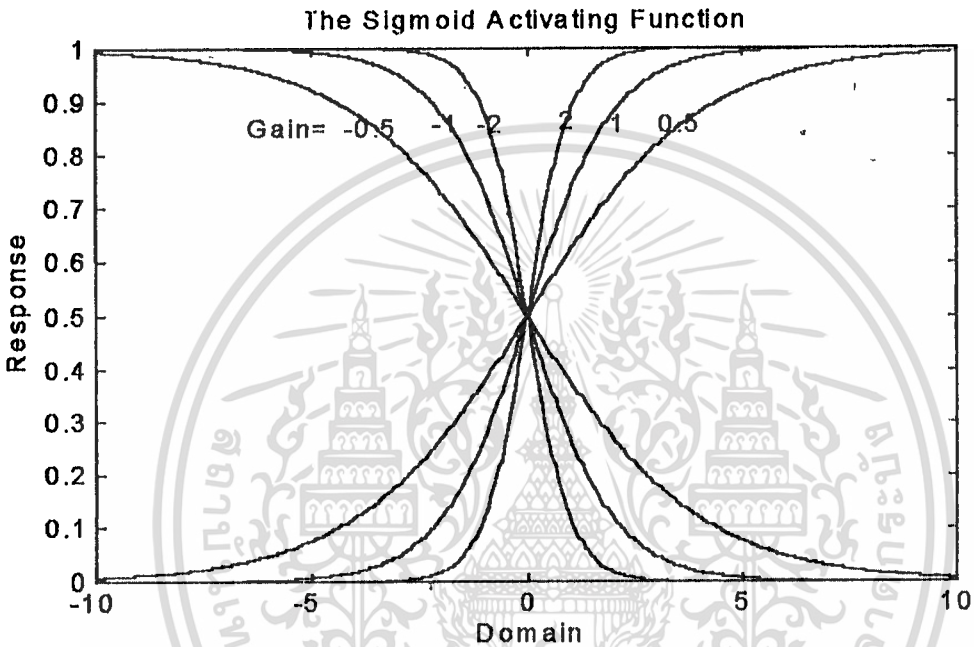
เปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้นจะสามารถใช้ขบวนการเรียนรู้ที่ต่างกันได้ โดยปกติจะใช้กฎของเดล์ต้าและการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ และในเปอร์เซปตรอนที่ต่อแบบหลายชั้น ฟังก์ชั่นกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นในแต่ละนิวรอน อาจจะใช้ฟังก์ชั่นซิกม่อยด์ ที่มีสมการดังนี้

$$f_s(R) = \frac{1}{\left(1 + e^{-kR}\right)}$$

เมื่อ k คือค่าเกน (Gain) ของฟังก์ชั่นซิกมอยด์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงได้ จาก $-\alpha$ ถึง $+\alpha$ โดยค่าเกนนี้จะทำให้ฟังก์ชั่นซิกมอยด์มีลักษณะของการลาดชัน (ในช่วงของการเปลี่ยนแปลง) ที่น้อยลง ถ้าค่าเกนมีค่าบวกและน้อยกว่า 1 และฟังก์ชั่นจะมีความชันมากขึ้น ถ้าค่าเกนมีค่ามากกว่า 1 ส่วนในกรณีที่เกนมีค่าเป็นลบจะทำให้เอาท์พุทมีลักษณะตรงข้ามกัน ซึ่งมีผลอย่างมากกับผลตอบสนองของนิวรอน แสดงได้ดังรูปที่5-4. ประโยชน์ของการใช้ฟังก์ชั่นกระตุ้นในลักษณะฟังก์ชั่นซิกมอยด์ในอัลกอริทึมการเรียนรู้คือสามารถทำการดิฟเฟอเรนเชียลได้ในทุกๆค่า เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับค่าน้ำหนักนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแกรเดียนต์ (Gradient) ของผลรวมค่าผิดพลาด ซึ่งจะต้องใช้ฟังก์ชั่นที่หาอนุพันธ์ได้ในทุกๆค่าของโดเมน และอนุพันธ์ของฟังก์ชั่นซิกมอยด์ยังคำนวณได้ง่าย เพราะสามารถแสดงให้อยู่ในเทอมของฟังก์ชั่นปกติได้ นั่นคือ $f'(x) = f(x)\left[1 - f(x)\right]$ และจะทำให้การหาผลลัพธ์ (ค่าน้ำหนักไซแนปส์) ที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Solution) ในช่วงการฝึกหัดได้ง่ายขึ้น.



รูปที่ 5-4 แสดงฟังก์ชั่นซิกมอยด์ที่มีค่าแกน (Gain) ที่ต่างกัน

5.4 ขบวนการเรียนรู้แบบเดลต้า

ขบวนการเรียนรู้แบบเดลต้า อยู่ในพื้นฐานบนวิธีการหาค่าผิดพลาดกำลังสองที่น้อยที่สุด (Least - Square - Error Minimization Method) เป้าหมายของวิธีนี้ คือการแสดงความแตกต่างของเอาท์พุทจริงและเอาท์พุทเป้าหมายที่ต้องการ ในรูปของอินพุท และค่าน้ำหนักไซแนปส์. โดยเริ่มที่ค่าความผิดพลาดกำลังสอง (E) ระหว่าง เอาท์พุทเป้าหมาย (T) และเอาท์พุทจากผลตอบสนองของโครงข่ายจริง (O) แสดงได้เป็น

$$E = \frac{1}{2}(T_i - O_i)^2$$

$$= \frac{1}{2}(T_i - f(w_i x_i))^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย w_i คือ เมตริกซ์ของค่าน้ำหนักไซแนปส์

x_i คือ เวกเตอร์ค่าอินพุท

O_i คือ เวกเตอร์เอาท์พุทจริงที่ได้จากโครงข่าย

T_i คือ เวกเตอร์เอาท์พุทเป้าหมายหรือเอาท์พุทที่ต้องการ

ตัวชี้ i หมายถึงลำดับของนิวรอนตัวที่ i ในแต่ละชั้น และ f คือฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ใช้ ดังนั้นค่าดิฟเฟอร์เรนเชียลของค่าความผิดพลาดเทียบกับค่าน้ำหนักไซแนปส์จะได้เป็น

$$\nabla E = -(T_i - O_i) f'(w_i x_i) x_i$$

เมื่อเราจะพิจารณาให้อยู่ในค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด ดังนั้นเครื่องหมายของการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดจึงเป็นลบ ดังนั้นเมื่อพิจารณาตามทฤษฎีของเกรเดียนต์เดสเซนต์ จะได้การเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักไซแนปส์ (รวมทั้งค่าธเรชโฮลด์) ดังนี้

$$\Delta w_i = -\eta \nabla E$$

โดยค่า μ คือค่าคงที่มีเครื่องหมายเป็นบวก

และ Δw_i จะเป็น

$$\Delta w_i = \eta (T_i - O_i) f'(w_i x_i) x_i$$

ดังนั้นการปรับปรุงเวกเตอร์ค่าน้ำหนักไซแนปส์จะได้จาก

$$w_{i(k+1)} = w_{i(k)} + \eta (T_i - O_i) f'(w_i x_i) x_i$$

ถ้าสมมุติให้ฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ใช้เป็นฟังก์ชั่นซิกมอยด์ ที่มีค่าเกนคงที่ Gain = 1 ดังนั้นค่าเกรเดียนจะถูกประมาณค่าได้โดยจากความสัมพันธ์ของ

$$f'(w_i x_i) = \frac{1}{2}(T_i \quad O_i^2)$$

ดังนั้น

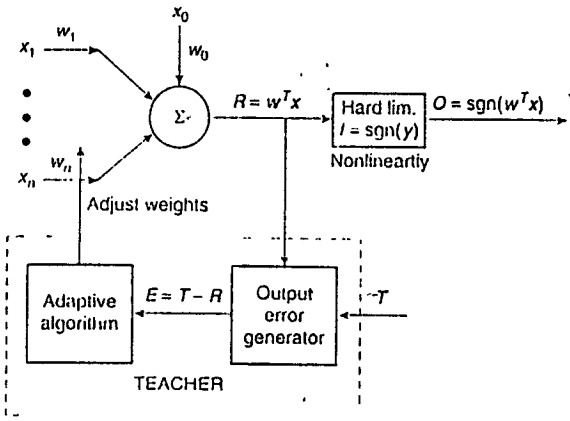
$$w_{i(k+1)} = w_{i(k)} + \frac{\eta}{2}(T_i - O_i)(T_i - O_i^2) x_i$$

5. 5 แบบจำลองของ ADALINE และ MADALINE

5.5.1 ADALINE

Bernard Widrow ได้พัฒนาแบบจำลองลักษณะหนึ่งขึ้น โดยเรียกว่า ADALINE (ADAptive LInear NEuron) และแบบจำลอง MADALINE (Many ADALINE). ADALINE จะมีนิวรอนเพียงตัวเดียวซึ่งแสดงดังรูปที่ 5-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-5 แสดงโมเดลของ ADALINE และ ผู้สอน

จากรูป $w_i = [w_1, w_2, ..., w_n]$ คือ เวกเตอร์ค่าน้ำหนักไซแนปส์ของอินพุท

$x_i = [x_1, x_2, ..., x_n]$ คือ เวกเตอร์อินพุท

$R = w^T x$ คือ เอาท์พุทของนิวรอนก่อนที่จะถูกกระตุ้นด้วยฟังก์ชั่นที่ไม่เชิงเส้น

$O = \text{sgn}(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i)$ คือ เอาท์พุทจากนิวรอนหลังจากถูกกระตุ้นด้วยฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้นแล้ว

T คือ การฝึกหัดของผู้สอนหรือสัญญาณเป้าหมาย โดยจะถูกใช้ในช่วงการฝึกหัดเท่านั้น

E = T - R คือความผิดพลาดของเอาท์พุท ในช่วงการฝึกหัด

แบบจำลองของ ADALINE โดยพื้นฐานประกอบด้วยค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ อินพุทจะมี 2 ค่าคือ (+1 หรือ -1) และค่าน้ำหนักไซแนปส์อาจจะมีเครื่องหมายเป็นบวกหรือลบ. โดยในช่วงเริ่มต้นการฝึกหัด น้ำหนักไซแนปส์จะถูกสุ่มค่าเป็นค่าเริ่มต้น ค่าผลรวมอินพุทคูณกับค่าน้ำหนักไซแนปส์และรวมทั้งเทอมไบอัส จะถูกส่งเข้าไปในทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นและระบบจะทำการสร้างสัญญาณเอาท์พุทออกมาเป็น +1 หรือ -1. รูปแบบ ADALINE จะเปรียบเทียบเอาท์พุทจริง (R) กับ เอาท์พุทเป้าหมาย (T) โดยอยู่บนพื้นฐานของขบวนการเรียนรู้แบบค่าเฉลี่ยกำลังสอง และค่าน้ำหนักไซแนปส์จะถูกปรับ โดยจากฟังก์ชั่นความผิดพลาด

$$E = T - R$$

แนวคิดในการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่ทำให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด ได้จาก

$$\frac{\delta w_{ij}}{\delta t} = \alpha \delta a_i \frac{a_i}{|a|^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

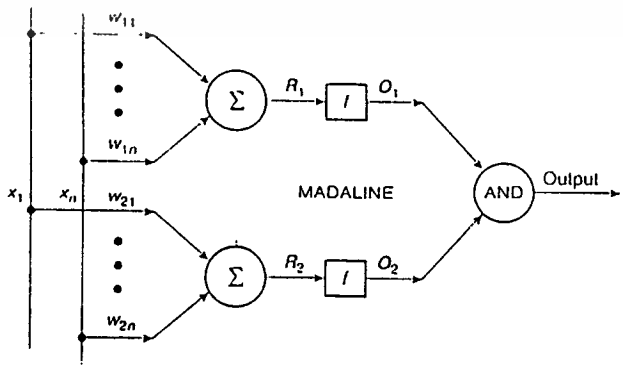
α คือค่าคงที่ โดยปกติ $0 < \alpha < 1$

ในการฝึกหัดแบบจำลองของ ADALINE โดยใช้ขบวนการเรียนรู้ของ Widrow-Hoff Learning จะมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. จัดค่าน้ำหนักไซแนปซ์ เริ่มต้นโดยวิธีแบบสุ่มในช่วง -1 ถึง 1
2. ป้อนอินพุทที่ถูกเลือกและเอาท์พุทเป้าหมายไปยังแบบจำลอง
3. คำนวณสัญญาณความผิดพลาด (ความแตกต่างระหว่างผลรวมของอินพุทและค่าน้ำหนักไซแนปส์ก่อนที่ถูกป้อนเข้าฟังก์ชั่นกระตุ้น กับค่าเอาท์พุทเป้าหมาย)
4. ปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์แต่ละตัว โดยมีพื้นฐานบนสมการข้างต้น ความผิดพลาดจะถูกลดลง 1/n เมื่อ n คือจำนวนของค่าน้ำหนักไซแนปส์
5. คำนวณในข้อ 3 และ 4 จนกระทั่งความผิดพลาดลดลงเป็น ' 0 '
6. คำนวณค่าน้ำหนักซ้ำใหม่สำหรับอินพุทรูปแบบต่อไป

5.5.2 MADALINE

แบบจำลองของ MADALINE จะใช้ ADALINES จำนวนหลายๆตัว มาทำงานในลักษณะขนานกัน แต่จะมีหน่วยเอาท์พุท เพียงตัวเดียว ซึ่งมีค่าอยู่บนพื้นฐานบนกฎการเลือกบางแบบ เช่น ถ้าใช้กฎแบบการโหวตเป็นหลัก ดังนั้นเอาท์พุท จะมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว คือ จริงหรือเท็จ เท่านั้น ผลลัพธ์จะเป็น 1 ถ้าค่าน้อยที่สุดของอินพุท (51%) มีค่าเป็น 1 (จริง) นอกจากนั้นผลลัพธ์จะเป็น -1 (เท็จ). ถ้าใช้กฎแบบลอจิก AND ดังนั้นเอาท์พุทจะเป็น 1 ถ้าอินพุททั้งหมดเป็น 1 และในกรณีอื่นๆ เอาท์พุทจะเป็น -1 (เท็จ). โดยอินพุทของ ADALINE ทั้งสองจะเหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ADALINE ทั้งสองทำงานในลักษณะขนานกัน ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 แสดง MADALINE ที่ประกอบด้วย ADALINE 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 Winner - Takes - All Learning Algorithm

การเรียนรู้แบบนี้จะใช้หลักการที่มีการแข่งขันกันของเอาท์พุทในลักษณะที่ว่า " ผู้ชนะได้ไปทั้งหมด " หรือ Winner-Takes-All. โดยจะเหมาะสมกับโครงข่ายที่ใช้การเรียนรู้ในลักษณะที่ไม่มีผู้สอน เช่น แบบจำลองโครงข่ายโคโฮเนน (Kohonen Networks) เป็นต้น. เมื่อสมมุติให้โครงข่ายมีชั้นเดียวและมี N นิวรอน (โหนด) โดยแต่ละนิวรอนจะมีกลุ่มของน้ำหนักไซแนปส์เป็นของตัวเอง. ค่าเวกเตอร์อินพุทของ x จะถูกส่งเข้าไปยังทุกนิวรอน และแต่ละนิวรอนจะให้ผลตอบสนองที่เอาท์พุทเป็น

$$O_n = \sum_j w_{nj} x_j$$

เมื่อพิจารณานิวรอนเอาท์พุทที่มีสัญญาณตอบสนองที่ดีที่สุดของอินพุท x จะถูกประกาศให้เป็นนิวรอนผู้ชนะ (Winner) ซึ่งจะถูกเลือกให้เรียนรู้เวกเตอร์ x และจะเป็นนิวรอนตัวเดียวที่มีค่าเอาท์พุทเป็นหนึ่งและนิวรอนตัวอื่นจะมีเอาท์พุทเป็นศูนย์. ตามหลักการเลือกผู้ชนะคือ

$$O_n = \underset{i=1,2,\ldots,n}{Max} \ (w_n x)$$

การเปลี่ยนแปลงในค่าน้ำหนักไซแนปส์ จะถูกคำนวณโดยสัมพันธ์กับ

$$\Delta w_n = \alpha(k)(x - w_n)$$

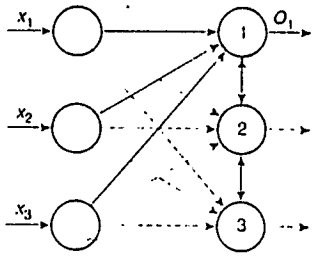
หรือ $$w_n(k+1) = w_n(k) + \alpha(k)(x - w_n)$$

โดย $\alpha(k)$ คือค่าสเกล่าร์ค่าบวกที่มีขนาดเล็กๆ ที่เรียกว่าอัตราการเรียนรู้ และอาจจะถูกปรับค่าให้ลดลงในแต่ละรอบการคำนวณเมื่อโครงข่ายมีการเรียนรู้มากขึ้น หรืออาจจะเป็นค่าคงที่ตลอดทั้งขบวนการเรียนรู้. ถ้า $\alpha(k)$ ถูกปรับให้มีค่าลดลง อัตราของการลดลงจะขึ้นอยู่บนความเร็วของการลู่เข้า (Convergence) ไปยังคำตอบผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด และขั้นตอนการเรียนรู้จะสิ้นสุดลง.

สมการสุดท้ายจะแสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักไซแนปส์เปลี่ยนแปลงโดยเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของ $x - w_n$; ซึ่งคือค่าเวกเตอร์ของน้ำหนักไซแนปส์ของการมีนิวรอนผู้ชนะ ที่ทำให้เอาท์พุทมีค่าใกล้เคียงกับอินพุท x .

รูปที่ 5-7 แสดงแนวคิดของโครงข่ายนิวรอนแบบชั้นเดียว ที่มี 3 นิวรอน และมี 3 อินพุท เมื่อ นิวรอนแรก คือนิวรอนที่ชนะ (ถูกศรทึบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

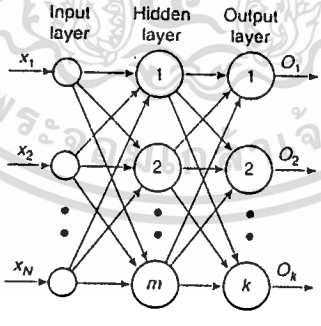


รูปที่ 5-7 แสดงการเรียนรู้ที่มีลักษณะการแข่งขันกัน โดยมีนิวรอนที่1 เป็นนิวรอนผู้ชนะ

5.7 อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ

(Back - Propagation learning Algorithm)

อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (BP) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Paul Werbosในปี 1974 อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับนี้ จะถูกใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมอย่างกว้างขวาง โดยเป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่มีการคำนวณไปข้างหน้า (Feed-Forward Neural Network) ในลักษณะที่มีคำนวณไปทีละชั้น โดยเริ่มจากชั้นซ่อนชั้นแรกไปยังชั้นซ่อนถัดไปจนกระทั่งถึงชั้นเอาท์พุท (ในชั้นอินพุทจะไม่มีการคำนวณผลตอบสนองของนิวรอน) และโครงข่ายอาจจะมีชั้นซ่อนจำนวน 1 ชั้น หรือมากกว่านี้ ดังรูป.



รูปที่ 5-8 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่มีนิวรอนเชื่อมโยงกันแบบหลายชั้น ที่มีลักษณะการคำนวณไปข้างหน้า (จากชั้นอินพุท ไปยังชั้นเอาท์พุท)

บนพื้นฐานอัลกอริทึมนี้ โครงข่ายจะเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่ก่อขึ้นมาจากชั้นอินพุท และสร้างผลตอบสนองในนิวรอนแต่ละตัว จนได้ผลตอบสนองเอาท์พุทของโครงข่าย ซึ่งก็คือผลตอบสนองของนิวรอนแต่ละตัวในชั้นเอาท์พุท. ขบวนการปรับค่าจะเริ่มโดยค่าน้ำหนักไซแนปส์แต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า จะถูกคำนวณปรับค่าใหม่ในช่วงการเรียนรู้ของโครงข่ายนี้ เพื่อที่จะลดค่าผิดพลาดของผลตอบสนองเอาท์พุทของโครงข่ายให้น้อยที่สุด (หรือเป็นศูนย์ถ้าเป็นไปได้) โดยถ้าชั้นซ่อนที่มีมากขึ้นจะทำให้โครงข่ายต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ที่มากขึ้นอีก.

ในการปรับปรุงค่าน้ำหนักไซแนปส์ ในขั้นแรกจะต้องคำนวนความผิดพลาดในชั้นเอาท์พุท ค่าความผิดพลาดนี้จะวัดได้จากความแตกต่างระหว่างเอาท์พุทจริงจากโครงข่ายและเอาท์พุทที่ต้องการ (เอาท์พุทเป้าหมาย). ส่วนในชั้นซ่อนจะไม่มีการหาค่าความผิดพลาดโดยตรง ซึ่งจะต้องใช้เทคนิคในการคำนวณหาค่าความผิดพลาดที่ชั้นซ่อน เพื่อที่จะทำให้ความผิดพลาดที่เอาท์พุทมีค่าน้อยที่สุด นั่นคือเป้าหมายท้ายสุดของการเรียนรู้.

5.8 การเรียนรู้โดยใช้การแพร่ค่าย้อนกลับ

การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับคือเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในขบวนการการเรียนรู้ โดยมีรอบการคำนวณที่ใช้ปรับค่า ตามการทำงานของสมการในอัลกอริทึมการฝึกหัด ดังนั้นสามารถที่จะใช้ขบวนการทางซอฟแวร์บนคอมพิวเตอร์ในการจำลองการเรียนรู้ในลักษณะนี้ได้เป็นอย่างดี.

ช่วงระหว่างการฝึกหัดโครงข่าย คู่ของรูปแบบที่ต้องการให้โครงข่ายเรียนรู้คือ (x_k , T_k) โดย x_k คือรูปแบบอินพุท และ T_k คือเป้าหมายหรือเอาท์พุทที่ต้องการ. รูปแบบ x_k เป็นผลให้มีผลตอบสนองที่เอาท์พุทของแต่ละนิวรอนในแต่ละชั้น.

เมื่อมีผลตอบสนองเกิดขึ้นที่ชั้นเอาท์พุท ความแตกต่างระหว่างเอาท์พุทจริง (O_k) และเอาท์พุทเป้าหมาย (T_k) จะทำให้เกิดสัญญาณความผิดพลาดขึ้น สัญญาณความผิดพลาดนี้ขึ้นอยู่บนเอาท์พุทของนิวรอนในแต่ละชั้น ซึ่งก็คือความผิดพลาดของโครงข่ายจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักไซแนปส์ของนิวรอนในแต่ละชั้น. ดังนั้นการทำให้ค่าความผิดพลาดนี้น้อยที่สุด ในระหว่างการเรียนรู้ก็คือการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักไซแนปส์ในทุกๆค่านั่นเอง. ขบวนการปรับปรุงค่าน้ำหนักไซแนปส์จะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ เช่นอัตราการเรียนรู้ และเทอมในการเร่ง เป็นต้น. ความเร็วและความเที่ยงตรงของขบวนการเรียนรู้นี้จะได้จากการสังเกตอัตราการลาดลงของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของโครงข่ายในแต่ละรอบการเรียนรู้ของโครงข่าย.

ก่อนที่จะเริ่มขบวนการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ ต้องตระเตรียมข้อมูลต่างๆดังต่อไปนี้

1. กลุ่มของรูปแบบที่ต้องการให้โครงข่ายเรียนรู้ ทั้งรูปแบบอินพุทและเอาท์พุทเป้าหมาย
2. ค่าของอัตราการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลักการที่จะทำให้ อัลกอริทึมการเรียนรู้สิ้นสุดลง
4. วิธีการที่จะปรับปรุงค่าน้ำหนักไซแนปส์
5. ชนิดของฟังก์ชั่นกระตุ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ใช้ (โดยปกติจะใช้ ฟังก์ชั่นกระตุ้นแบบซิกมอยด์)
6. ค่าน้ำหนักไซแนปส์เริ่มต้น (โดยทั่วไปจะใช้การสุ่มค่า ซึ่งจะเป็นค่าน้อยๆ)

ขบวนการเรียนรู้จะเริ่มต้นโดยการป้อนรูปแบบอินพุท แบบแรก X_k และเอาท์พุทเป้าหมาย T_k ที่สัมพันธ์กัน. ค่าเวกเตอร์ของอินพุท จะเป็นผลให้เกิดผลตอบสนองที่นิวรอนในชั้นแรก ซึ่งจะเป็นตัวทำให้เกิดผลตอบสนองในชั้นซ่อนถัดไป โดยลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดผลตอบสนองสุดท้ายที่แต่ละนิวรอนในชั้นเอาท์พุท.

ผลตอบสนองนี้จะถูกเปรียบเทียบกับเอาท์พุทเป้าหมายที่ต้องการ เพื่อคำนวณหาค่าความแตกต่างหรือค่าความผิดพลาดที่แต่ละนิวรอนในชั้นเอาท์พุท และอัลกอริทึมจะคำนวณค่าน้ำหนักไซแนปส์ของชั้นเอาท์พุทใหม่ (ค่าน้ำหนักไซแนปส์ระหว่างชั้นซ่อนชั้นสุดท้ายกับชั้นเอาท์พุท) โดยทำให้ความผิดพลาดของเอาท์พุทมีค่าน้อยที่สุด. อัลกอริทึมต่อไปจะคำนวณค่าความผิดพลาดของเอาท์พุทที่ชั้นซ่อนชั้นสุดท้าย แล้วคำนวณค่าน้ำหนักไซแนปส์ใหม่ (สำหรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ระหว่าง ชั้นซ่อนสุดท้ายและชั้นซ่อนก่อนชั้นสุดท้าย) และอัลกอริทึมจะยังคงดำเนินการคำนวณค่าน้ำหนักไซแนปส์ค่าใหม่ในทุกๆชั้นกลับไป จนกระทั่งการคำนวณดำเนินมาถึงชั้นอินพุท อัลกอริทึมจะเลือกรูปแบบของคู่อินพุทและเอาท์พุทเป้าหมายต่อไป และทำการคำนวณซ้ำการประมวลผลนี้ใหม่. เมื่อพิจารณาการหาผลตอบสนองของโครงข่ายจะพบว่ามีทิศทางการคำนวณจากชั้นอินพุทไปยังชั้นเอาท์พุท (Forward direction) แต่ค่าน้ำหนักไซแนปส์จะถูกคำนวณในทิศทางย้อนกลับ (Backward Direction) คือจากชั้นเอาท์พุทไปยังชั้นอินพุท ดังนั้นการเรียนรู้ในลักษณะนี้จึงได้ชื่อว่าการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ.

5.9 การวิเคราะห์ในทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Analysis)

เมื่อพิจารณาโครงข่ายแบบที่มีทิศทางการคำนวณไปข้างหน้าด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ โครงข่ายมีจำนวน L ชั้น และมีจำนวนโหนดเท่ากับ N_ℓ ในชั้น ℓ

$w_{\ell,j,i}$ คือ ค่าน้ำหนักไซแนปส์ระหว่างโหนด i ของชั้น ℓ -1 และ โหนด j ของชั้น ℓ

$O_{\ell,j}(x_p)$ คือ ค่าเอาท์พุทจริง (สำหรับรูปแบบ x_p ของโหนดลำดับ j ในชั้น ℓ ภายหลังที่ผ่านสู่ฟังก์ชั่นกระตุ้นแล้ว

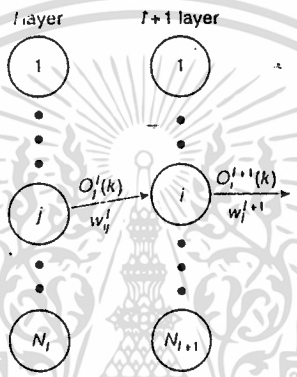
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_{L,j}(x_p)$ คือ ค่าเอาท์พุทที่คาดหวังหรือเอาท์พุทเป้าหมาย (สำหรับรูปแบบ x_p ของโหนดลำดับ j ในชั้น L)

$\alpha_{\ell,i}(x_p)$ คือ ค่าเอาท์พุทของการกระตุ้นจากรูปแบบ p สำหรับโหนดลำดับ j ในชั้น ℓ (ก่อนหน้าที่จะถูกส่งเข้าฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้น)

P คือ รูปแบบการฝึกหัด และ x_p คือรูปแบบในการฝึกหัดลำดับ p

ในการอธิบายถึงขบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ เมื่อสมมุติให้โหนด i ของชั้น $\ell + 1$ ได้รับสัญญาณจากโหนด j ในชั้น ℓ โดยผ่านทางค่าน้ำหนักไซแนปส์ w^{ℓ}_{ij} ดังแสดงในรูป



รูปที่ 5-9 ขั้นตอนการเรียนรู้ด้วยการแพร่ค่าย้อนกลับที่โหนด

เมื่อพิจารณาโหนด N_ℓ ในชั้น ℓ , สัญญาณเอาท์พุทจากโหนด i ของชั้นลำดับ $(\ell + 1)$ และรูปแบบอินพุทลำดับ k ที่ส่งเข้าไปยังโครงข่าย แสดงได้ดังนี้

$$O_i^{l+1}(k) = f\left(\sum_{j=1}^{N_l} w_{ij}^l O_j^l(k) - \theta_i^{l+1}\right)$$

$$= f\left(\sum_{j=1}^{N_{L+1}} w_{ij}^l O_i^l(k)\right)$$

โดยเทอมของธเรชโฮลด์ θ_i^{l+1} จะอยู่ภายในสมการผลรวมนี้

ถ้าเลือกใช้ฟังก์ชั่นซิกมอยด์ $f(x) = \left[\frac{1}{1+e^{(-\beta x)}}\right]$ ดังนั้นค่าที่ทำการดิฟเฟอร์เรนเชียลแล้วคือ

$$f'(x) = \beta . f(x)\big(1 - f(x)\big)$$

ความผิดพลาดรวม (E) สำหรับโครงข่ายและสำหรับรูปแบบทั้งหมด K จะถูกนิยามเท่ากับผลรวมของความแตกต่างกำลังสองระหว่างเอาท์พุทของโครงข่ายจริงและเอาท์พุทเป้าหมายที่ชั้นเอาท์พุท L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \sum_{k=1}^{K} E_k = \sum_{k=1}^{K}\left[\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N_L}[T_i(k) - O_i^L(k)]^2\right]$$

เป้าหมายคือการหากลุ่มของค่าน้ำหนักไซแนปส์ในทุกๆชั้นของโครงข่ายที่ทำให้ค่าความผิดพลาดรวมต่ำที่สุด กฎการเรียนรู้จะถูกแสดงในการปรับเปลี่ยนค่านำหนักที่เป็นสัดส่วนกับค่าดิฟเฟอร์เรนเชียลที่เป็นลบของค่าความผิดพลาด เทียบกับค่าน้ำหนักไซแนปส์

$$\Delta w_{nm}^{l} \propto -\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^{l}}$$

ในการคำนวณที่ขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาด E_k บนค่าน้ำหนักไซแนปส์ลำดับ nm ของนิวรอนในชั้นลำดับ ℓ เมื่อใช้กฎลูกโซ่ (Chain Rule)

$$\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^{l}} = \frac{\partial E_k}{\partial O_i^L(k)}\frac{\partial O_i^L(k)}{\partial w_{nm}^{l}}$$

ดังนั้น

$$-\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^{l}} = \sum_{i=1}^{N_L}\left(T_i(k) - O_i^L(k)\right)\frac{\partial O_i^L(k)}{\partial w_{nm}^{l}}$$

ใช้ฟังก์ชั่นกระตุ้นที่เป็นลักษณะฟังก์ชั่นซิกมอยด์ และมีค่าดิฟเฟอร์เรนเชียลของฟังก์ชั่นในความสัมพันธ์ข้างต้น และสำหรับ ℓ = L-1 (เช่น เช่นค่าน้ำหนักไซแนปส์ของชั้นเอาท์พุท) ดังนั้น

$$-\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^{l}} = \left(T_n - O_n^L\right)\beta O_n^L\left(1 - O_n^L\right)O_m^{L-1}$$

ดังนั้นขบวนการในการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ของชั้นเอาท์พุท คือ

$$\Delta w_{nm}^{L} = \eta\left[(T_n - O_n^L)O_n^L(1 - O_n^L)\right]O_m^{L-1}$$

โดย η คือ แฟกเตอร์ที่เป็นสัดส่วนกัน หรือเรียกว่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) อย่างไรก็ตาม ถ้า $\ell \neq$ L-1 แต่ค่า O_m^{L-1} ยังคงขึ้นอยู่บน W_{nm}^{l} และค่าความผิดพลาดจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักไซแนปส์ ดังนั้นจึงต้องใช้กฎลูกโซ่อีกครั้ง ซึ่งจะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^{l}} = \sum_{i=1}^{N_L}\left(T_i - O_i^L\right) f'(O_i^L) \sum_{i=1}^{N_{L-1}+1} w_{ij}^{L-1} \frac{\partial O_j^{L-1}}{\partial w_{nm}^{l}}$$

ถ้า ℓ = L-2 เช่น ค่าน้ำหนักไซแนปส์ของนิวรอนในชั้นซ่อน ดังนั้น

$$-\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^{l}} = \sum_{i=1}^{l}\left(T_i - O_i^L\right) f'(O_i^L) w_{in}^{L-1} f'(O_n^{L-1}) O_m^{L-2}$$

$$= f'(O_m^{L-1})\left[\sum_{i=1}^{N}(T_i - O_i^L) f'(O_i^L) w_{in}^{L}\right] O_m^{L-2}$$

ในลำดับสุดท้าย ขบวนการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ของชั้นซ่อน คือ

$$\Delta w_{nm}^{L-2} = \eta\left[f'\left(O_n^{L-1}\right)\sum_{i=1}^{N_L}(T_i - O_i^L) f'(O_i^L) w_{in}^{L}\right] O_m^{L-2}$$

โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

$$\Delta w_{ij}^{l} = \eta \delta_i^l O_j^{l-1}$$

สำหรับน้ำหนักไซแนปส์ที่ชั้นเอาท์พุท

$$\delta_i^L = (T_i - O_i^L) O_i^L (1 - O_i^L)$$

และสำหรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่ชั้นซ่อน

$$\delta_i^l = \left(\sum_{r=1}^{N_l} \delta_r^{l+1} w_{ri}^{l+1}\right) O_i^l (1 - O_i^l)$$

อัลกอริทึมการปรับค่าของเกรเดียนต์นี้จะทำการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าผิดพลาดของโครงข่ายที่น้อยที่สุดจึงสิ้นสุดการคำนวณ

ในการทดลอง ถ้ามีการใช้หลักการการหยุดของอัลกอริทึม ดังนั้น อัลกอริทึมจะไม่สามารถประมวลผลในรอบต่อไปได้อีก และสำหรับโหนดในชั้น ℓ การคำนวนของ δ_i^l ขึ้นอยู่บนความผิดพลาดที่คำนวณได้ที่ชั้น (ℓ +1) นั่นคือการคำนวณจะเป็นการคำนวณในลักษณะย้อนกลับไปยังชั้นอินพุทนั่นเอง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10 การเตรียมข้อมูลเริ่มต้นก่อนการประยุกต์ใช้งาน

ก่อนที่เริ่มขบวนการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับจะต้องพิจารณาถึงลักษณะดังต่อไปนี้

1. การตัดสินใจเลือกฟังก์ชั่นการใช้งานของโครงข่าย เช่น การจดจำรูปแบบ, การทำนาย หรือการลงความเห็น
2. มีชุดของรูปแบบคู่อินพุทและเอาท์พุทที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่ายอย่างสมบูรณ์
3. เลือกจำนวนของชั้นในโครงข่ายและจำนวนของโหนดที่ใช้ในแต่ละชั้น
4. เลือกฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้น (โดยปกติคือฟังก์ชั่นซิกมอยด์) และค่าเกนของฟังก์ชั่น
5. เลือกค่าอัตราการเรียนรู้
6. เลือกหลักการหยุดอัลกอริทึมการเรียนรู้ เพราะเมื่อโครงข่ายเข้าสู่ขบวนการเรียนรู้แล้ว จะต้องคำนวณอยู่ในรอบการทำงานของอัลกอริทึมนั้น โดยเลือกใช้จาก
   5.1 ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ที่โครงข่ายจะต้องสร้างผลตอบสนองที่มีความแตกต่างจากเอาท์พุทที่ต้องการ โดยรวมไม่เกินค่านี้
   5.2 จำนวนรอบสูงสุดของการคำนวณ เนื่องจากในบางครั้งขบวนการฝึกหัดจะต้องใช้จำนวนรอบในปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์มาก หรือค่าความผิดพลาดไม่ลดลง หรือลดลงน้อยมาก หรือเกิดการแกว่ง (Oscillate) เป็นต้น
   5.3 ทำให้อัลกอริทึมสิ้นสุดจากตัวโปรแกรมเอง โดยการรับเมสเสจ (Messages) จากวินโดวส์หลัก เช่น เมสเสจที่เกิดจากการกดปุ่ม (Button) แล้วสร้างเมธธอร์ด (Methods) ให้ขบวนการเรียนรู้สิ้นสุดลง โดยการเขียนโปรแกรมแทรกในช่วงการฝึกหัดโครงข่าย
   5.4 ใช้ทั้ง 5.1 - 5.3

โดยสรุปขบวนการเรียนรู้จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ตั้งค่าเริ่มต้นของค่าน้ำหนักไซแนปส์ทั้งหมด โดยการสุ่มค่าที่มีค่าน้อย
2. เลือกคู่การฝึกหัด (X(k) , T(k))
3. คำนวณค่าเอาท์พุทจริงจากโครงข่าย จากแต่ละนิวรอนในชั้นเอาท์พุท โดยเริ่มด้วยชั้น อินพุท และคำนวณไปที่ละชั้น จนกระทั่งถึงชั้น เอาท์พุท L จาก

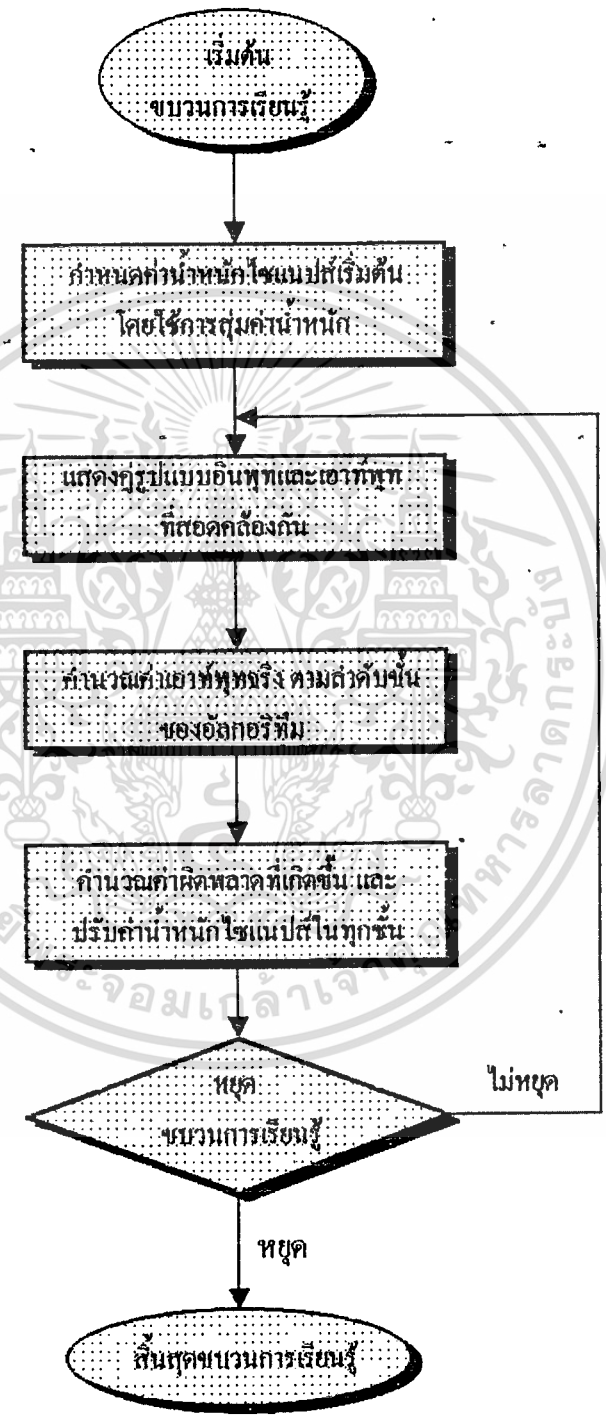
$$O_i^l(k) = f(\sum_{m=0}^{N_{l-1}} w_{jm}^l O_m^{l-1})$$

4. คำนวณค่าเกรเดียน δ_i^l และความแตกต่าง Δw_{ij}^l สำหรับแต่ละอินพุทของนิวรอนในแต่ละชั้น โดยเริ่มจากชั้นเอาท์พุท และปรับค่าไปที่ละชั้น จนกระทั่งถึงชั้นอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปรับปรุงค่าน้ำหนักไซแนปส์
6. กลับไปยังขั้นตอนที่ 2-5

โดยแสดงให้เห็นถึงการทำงานของขบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับได้ดังนี้



รูปที่ 5-10 แสดงขั้นตอนของขบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.11 ข้อวิจารณ์อัลกอริทึมแบบแพร่ย้อนกลับ

ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมแบบแพร่ค่าย้อนกลับจะถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่วิธีของการคำนวณการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์แบบแพร่ค่าย้อนกลับนี้จะไม่พบในทางชีววิทยา เซลล์ประสาทจะไม่พบว่าทำงานย้อนกลับในการปรับสารเคมีที่ไซแนปส์ของมัน ดังนั้น อัลกอริทึมในการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับจะไม่ใช่ขบวนการเรียนรู้ชั้นที่เลียนแบบมาจากโลกทางชีววิทยา แต่จะเป็นวิธีการออกแบบโครงข่ายด้วยการเรียนรู้ที่มีพื้นฐานมาจากคณิตศาตร์ และอัลกอริทึมนี้จะใช้ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ในการคำนวณค่าน้ำหนักไซแนปส์. ในการพัฒนาโครงข่ายประสาทที่มีความสามารถในการปรับตัว เรียนรู้รูปแบบใหม่ๆ โครงข่ายจะตรวจสอบว่ารูปแบบที่ได้รับเป็นรูปแบบที่เรียนรู้ไปแล้วหรือไม่ และถ้าเป็นรูปแบบใหม่คอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าน้ำหนักไซแนปส์อีกครั้ง ซึ่งหมายถึงว่า การใช้โครงข่ายประสาทเทียมยังคงขึ้นอยู่บนดิจิตอลคอมพิวเตอร์นั่นเอง.

อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อยกลับนี้มีขั้นตอนการคำนวณที่มาก ดังนั้นจะมีความเร็วในการฝึกหัดที่ช้า เวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าความผิดพลาดที่ได้รับและการปรับปรุงค่าน้ำหนักไซแนปส์ในขบวนการฝึกหัดจะเป็นสัดส่วนกับขนาดของโครงข่าย. ในโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ การเพิ่มขึ้นของจำนวนของรูปแบบที่ใช้ในการฝึกหัด จะเป็นผลให้เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายเพิ่มมากขึ้น

ความไร้ประสิทธิภาพในด้านของเวลาที่ใช้ในการคำนวณตามอัลกอริทึมนี้ เป็นข้อเสียที่สำคัญอย่างมาก แต่ก็เป็นตัวจุดชนวนในความพยายามคิดค้นเทคนิคที่จะเร่งเวลาในการเรียนรู้ให้มีเวลาที่น้อยที่สุด โดยมีการพัฒนาเทอมในการเร่ง และอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบใหม่ที่ทำให้มีความเร็วมากขึ้นในปัจจุบัน. การพัฒนาลักษณะของโครงข่ายแบบอื่นๆในปัจจุบัน ที่มีคุณลักษณะการเชื่อมต่อที่ต่างกัน และมีขบวนการเรียนรู้ที่ต่างกัน ทำให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ มากขึ้น เช่น

- Adaptive Resonance theory(ART) Paradigm ที่ถูกพัฒนาโดย Steven Grossberg และ Gail Carpenter
- Hopfield Model ที่ถูกพัฒนาโดย John J. Hopfield
- Random Access Memory(RAM)
- Bi-directional Associative Memory(BAM)
- Self - Organizing Map(SOM)
- Probabilistic Neural Network(PNN)
- Radial Basis Function(RBF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.12 เทอมที่ใช้ในการเร่งการเรียนรู้ของโครงข่าย

เนื่องจากอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับต้องใช้รอบการปรับค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่มาก ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นและพัฒนาการเรียนรู้แบบใหม่ที่มีความรวดเร็วขึ้น เช่นเทอมของโมเมนตัมที่ใช้ในร่วมกับการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ โดยมีพื้นฐานจากการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักในรอบการคำนวณต่อไปค่อนข้างที่จะคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงในรอบการคำนวณปัจจุบัน. ในการบวกเทอมของโมเมนตัมนี้กับอัลกอริทึมของการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับจะสามารถช่วยให้การปรับลดลงของฟังก์ชั่นค่าความผิดพลาดโดยรวมไม่ติดอยู่ในจุดต่ำสุดแบบชั่วคราว (Local Minimum) เนื่องจากความชันที่เป็นศูนย์ทำให้อัลกอริทึมของเกรเดียนท์เดสเซนต์ที่ใช้ความชันของฟังก์ชั่นเป็นพื้นฐานในการปรับค่า ไม่สามารถปรับค่าน้ำหนักที่ทำให้ค่าความผิดพลาดหลุดออกจากจุดต่ำสุดแบบนี้ได้. ดังนั้นสมการที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักใหม่จะเป็น

$$w_{ij}^{l}(t+1) = w_{ij}^{l}(t) + \eta \delta_i^l O_j^{l-1} + \alpha\left(w_{ij}^{l}(t) - w_{ij}^{l}(t-1)\right)$$

โดย α คือสัมประสิทธิโมเมนตัม ที่มีค่าเป็นบวก และมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ทั้งนี้ค่าโมเมนตัมที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่แต่ละปัญหาที่มีค่าที่ไม่แน่นอน. ค่าโมเมนตัมที่ไม่เหมาะสมจะมีแนวโน้มให้เกิดการแกว่ง (Oscillation) ของฟังก์ชั่นค่าผิดพลาดที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความชันของฟังก์ชั่น และทำให้โครงข่ายต้องใช้รอบการเรียนรู้ที่มากขึ้นกว่าเดิมหรือค่าความผิดพลาดของโครงข่ายอาจจะไม่ปรับตัวลดลง.

เทอมที่ทำการเรียนรู้มีความรวดเร็วขึ้นในรูปแบบอื่นๆ ก็มีใช้กันอย่างมาก เช่น คอนจูเกตเกรเดียนต์ (Conjugate Gradient) ที่มีพื้นฐานอยู่บนวิธีเดอร์ริเวทีฟลำดับสอง (Second Derivative) ของการทำให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุด และวิธีของนิวตัน (Newton's Method) ที่มีพื้นฐานอยู่บนการสร้างฟังก์ชั่นที่ใช้เทอมของอนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor Series Expansion) เป็นต้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

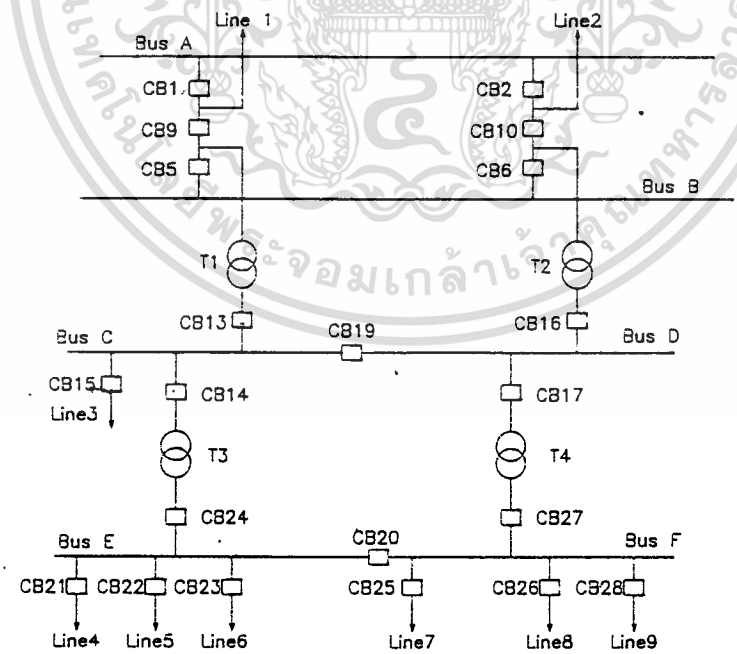
บทที่ 6

การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมประยุกต์

(Fault Locations Analysis in the Power System Using the Applied Artificial Neural Network)

6.1 ระบบไฟฟ้ากำลังต้นแบบและข้อจำกัดของระบบ

ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้แนวคิดของโครงข่ายประสาทเทียมในการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติหรือฟอล์ต (Fault) ขึ้นในระบบ แสดงดังรูป

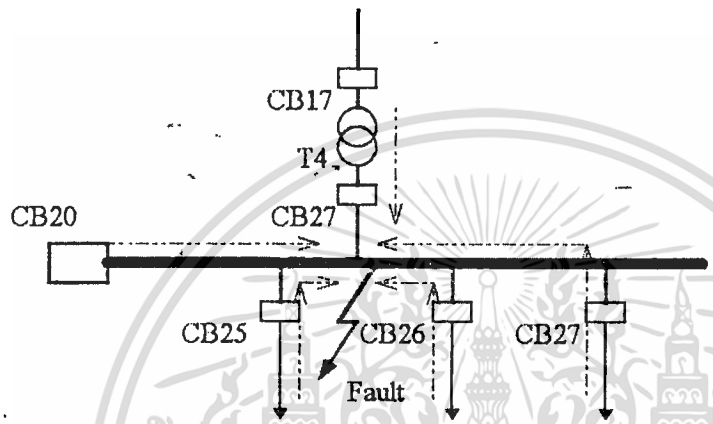


รูปที่ 6 - 1 แสดงวันไลน์ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากำลังต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดเริ่มแรกของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ มีดังนี้

1. ระบบไฟฟ้ากำลังนี้จะถูกต่อก้บระบบไฟฟ้าอื่นในทุกฟีดเดอร์ (Feeder) ซึ่งจะทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีระบบการป้องกันที่ยากขึ้นเนื่องจากกระแสในไลน์อื่นสามารถที่จะไหลไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติในระบบได้ เช่นเมื่อพิจารณาการเกิดการลัดวงจรทั้ง 3 เฟสขึ้นที่ Bus F การไหลของกระแสในระบบ (ในช่วงที่เกิดการลัดวงจร) จะเป็นดังรูป



รูปที่ 6 - 2 แสดงการไหลของกระแสจากส่วนต่างๆ ของระบบเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นที่ บัสบาร์ F

2. การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลจากระบบการป้องกันหลัก (Primary Protection) เท่านั้น และยังไม่พิจารณาถึงสัญญานบอกเหตุจากระบบการป้องกันสำรอง
3. สัญญาณบอกเหตุที่ป้อนเข้าสู่โครงข่ายจะถือว่าไม่มีการล่าช้าในการส่งสัญญาณ โดยจะถือว่าชุดสัญญาณบอกเหตุทั้งหมดถูกส่งมาพร้อมกัน
4. สัญญาณบอกเหตุในระบบในอุปกรณ์ป้องกันทุกตัวที่ส่งมาเข้าที่โครงข่าย จะมีสถานะการทำงานเพียงสองสถานะเท่านั้น เช่นเดียวกับผลตอบสนองของโครงข่ายที่มีสองสถานะ ดังความหมายในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 6 - 1 แสดงสถานะที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม

สัญญลักษณ์ที่ใช้ใน โครงข่าย	*สถานะของอุปกรณ์* *0*	*1*
รีเลย์	ไม่มีการทำงาน	ทำงานแล้ว
CB	ไม่มีการทริป	ทริปแล้ว
ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์	ไม่เกิดฟอลต์	เกิดฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สัญญาณบอกเหตุที่ส่งเข้ามาที่โครงข่ายจะถือว่าอุปกรณ์ป้องกันเหล่านั้นมีการทำงานจริงแล้ว นั่นคือจะไม่มีสัญญาณหลอก (สัญญาณที่ส่งค่ามาเป็น 1 แต่ไม่มีการทำงานจริงของอุปกรณ์) เกิดขึ้นในระบบ
6. สัญญานบอกเหตุทุกตัวในระบบจะถือว่ามีความสำคัญเท่ากันหมด

6.2 หลักการและการออกแบบระบบป้องกันในระบบตัวอย่าง

การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

6.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

สาเหตุการเกิดความผิดปกติขึ้นที่หม้อแปลงโดยสรุปสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

- เกิดความผิดปกติที่อุปกรณ์ช่วยของหม้อแปลง. โดยอาจเกิดจากน้ำมันในหม้อแปลงที่มีระดับต่ำกว่าพิกัด หรือน้ำมันหม้อแปลงเสื่อมคุณภาพการเป็นฉนวนลง หรือเกิดความผิดขึ้นที่ปั๊มน้ำมัน , อุปกรณ์ในการดูลสิ่งต่างๆ
- เกิดความผิดปกติขึ้นที่ขดลวดหม้อแปลง. ซึ่งเป็นฟอลต์ที่ทำให้เกิดอันตรายได้มาก แต่ตรวจสอบได้จากกระแสและแรงดันที่ไม่สมดุลย์ ในกรณีทั้งการเกิดฟอลต์ระหว่างขดลวดที่ใกล้กันเช่น การลัดวงจรระหว่างเฟสบนจุดต่อด้านนอกทางแรงสูงและแรงต่ำ หรือเกิดการลัดวงจรระหว่างขดลวด เนื่องจากจุดต่อหลวมหรือฉนวนของขดลวดเสื่อมจากความร้อนในการใช้งาน เป็นต้น.
- โหลดเกินและการลัดวงจรภายนอก. ภาวะโหลดเกินนั้นจะทำให้เกิดความร้อนที่สูงขึ้นที่ขดลวดโดยจะทำให้ฉนวนที่ขดลวดเสื่อมสภาพ และในสภาวะที่เกิดการลัดวงจรภายนอกกระแสจะถูกจำกัดจากค่ารีแอกแตนซ์ของหม้อแปลง ซึ่งจะทำให้กระแสลัดวงจรต่ำลง

การป้องกันหม้อแปลง ในกรณีที่หม้อแปลงมีขนาด 5 MVA หรือใหญ่กว่าควรจะใช้ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ในการป้องกันเพราะค่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าสูงมากในกรณีการลัดวงจรระหว่างเฟส และการลัดวงจรลงดิน โดยหลักการคือเมื่อเกิดความผิดปกติในตัวหม้อแปลงจะทำให้กระแสที่ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิไม่สัมพันธ์กันอย่างปกติ ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดกระแสไม่สมดุลย์ขึ้นที่รีเลย์ และรีเลย์จะทำการส่งสัญญาณไปยังชันท์ทริป (Shunt Trip) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในการตัดวงจรหม้อแปลงออก

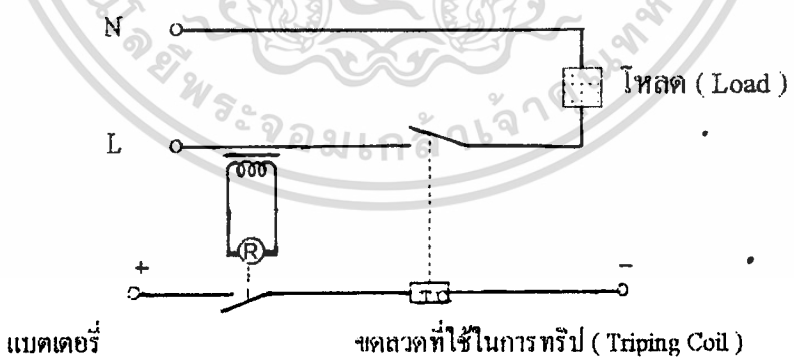
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 การป้องกันบัสบาร์ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในบัสบาร์สามารถพิจารณาได้จากฉนวนของตัวนำเสื่อมสภาพ , เกิดการแฟล็ชโอเวอร์ (Flash Over) ขึ้นในลูกถ้วยฉนวน และเกิดจากความผิดปกติของ สวิทช์เกียร์ (Switch Gear) เป็นต้น.

การป้องกันก็จะใช้ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ตามหลักการของเคอร์ชอฟซึ่งกระแสที่ไหลเข้าและออกจากบัสบาร์ต้องมีค่าเท่ากันถ้าไม่มีความผิดปกติขึ้นที่ภายในขอบเขตของบัสบาร์. และในกรณีที่เกิดความผิดปกติในลักษณะเฟลมลีกเกจ (Frame Leakage) จะใช้การป้องกันโดยต่อรีเลย์ระหว่างโครงสร้างห่อหุ้มกับดินผ่านหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) และต่อขนานกับรีเลย์ในการส่งสัญญาณบอกเหตุออกไป.

6.2.3 การป้องกันสายส่ง การเกิดความผิดปกติในส่วนนี้จะพบว่ามีโอกาสที่เกิดขึ้นได้สูงมากถึง 50% เนื่องจากสายสายส่งเหนือหัว (Over - Head Line) มีความยาวมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก ฟ้าผ่า , พายุ , แผ่นดินไหว และว่าว เป็นต้น. การออกแบบระบบป้องกันสายส่งอาจจะใช้รีเลย์ชนิดต่างๆ เช่น รีเลย์กระแสเกินทั้งแบบรู้ทิศทางและไม่รู้ทิศทาง , ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ , ดิสแตนซ์รีเลย์ในแบบต่าง เช่น อิมพิแดนซ์รีเลย์ , รีแอกซ์แตนซ์รีเลย์ , แอดมิตแตนซ์ รีเลย์ , โอห์มรีเลย์ เป็นต้น.

ตามปกติรีเลย์จะทำงานจากกระแสและแรงดันที่ได้รับมาจากหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer) โดยจะมีแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแหล่งกระแสในการทริปเซอร์-กิตเบรกเกอร์เมื่อรีเลย์ทำงาน ซึ่งแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 6-3 แสดงการป้องกันระบบเบื้องต้น

จากหลักการในการป้องกันอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ เหล่านี้ จะนำไปสู่การออกแบบระบบป้องกันในระบบไฟฟ้าโดยรวมทั้งหมด ซึ่งรีเลย์ในระบบจะต้องมีการทำงานที่สัมพันธ์กัน (Coordinate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากระบบไฟฟ้ากำลังรูปที่ 6 - 1 และข้อจำกัดในระบบ เมื่อพิจารณาระบบป้องกันซึ่งประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์จำนวน 21 ตัว และ รีเลย์จำนวนทั้งหมด 19 ตัว ซึ่งแบ่งเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

— ใช้ในการป้องกันบัสบาร์จำนวน 6 ตัว (ทั้ง 6 บัส) คือ BMRA - BMRF

— ใช้ในการป้องกันสายส่งไฟฟ้า จำนวน 9 ตัว คือ LMR1- LMR9

— ใช้ในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า จำนวน 4 ตัว คือ TMR1 - TMR4

ข้อมูลการป้องกันระบบเหล่านี้ทั้งหมด จะใช้เป็นข้อมูลเบื้องในการฝึกหัดโครงข่ายซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

6.3 การจัดเตรียมข้อมูลในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม

6.3.1 การจัดเตรียมโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในปัญหานี้ จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายแบบคำนวณไปข้างหน้า (Feed-Forward Neural Networks) และมีฟังก์ชั่นกระตุ้นที่มีลักษณะที่เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinearly Activating Function) เนื่องจากรูปแบบปัญหาในการหาตำแหน่งที่ฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีลักษณะที่ซับซ้อนเป็นอย่างมาก

จำนวนของนิวรอนหรือโหนดที่ชั้นอินพุทจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนของอุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดในวงจรป้องกัน โดยในตัวอย่างระบบนี้คือ 40 อุปกรณ์ (ทั้งรีเลย์ และ เซอร์กิตเบรกเกอร์) ดังนั้น ในชั้นอินพุทของโครงข่ายมีจำนวนเท่ากับ 40 นิวรอน (โหนด) แต่ในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเกี่ยวกับรูปแบบการเรียนรู้ข้อมูลอินพุทจะใช้นิวรอนเพิ่มขึ้น 7 นิวรอน

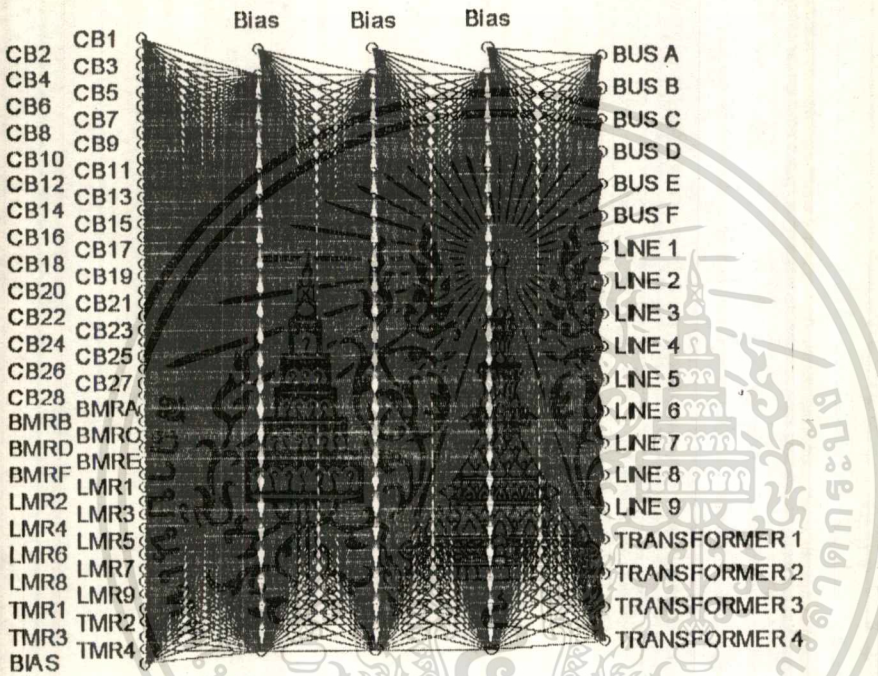
จำนวนของนิวรอนที่ชั้นเอาท์พุทจะมีจำนวนเท่ากับตำแหน่งทั้งหมดในระบบที่อาจเกิดฟอลต์ขึ้นได้ โดยในตัวอย่างระบบนี้คือ 19 ตำแหน่ง ซึ่งก็คือตำแหน่งที่บัส 6 ตำแหน่ง (Bus A-Bus F), ที่ไลน์ 9 ตำแหน่ง (L1 - L9) และที่หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 4 ตำแหน่ง (T1 - T4) ดังนั้น ในชั้นเอาท์พุทของโครงข่ายมีจำนวนนิวรอนเท่ากับ 19 นิวรอน

จำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนในละชั้นซ่อน จะใช้การกำหนดขึ้นมาก่อน (ตามวิธีของการพรูนนิง) โดยมีหลักการพิจารณาจากลักษณะความซับซ้อนของปัญหา หรือใช้จำนวนตามทฤษฎีงานวิจัยต่างๆ เช่นจาก Kolmogorov's Theorem [15] ที่กล่าวว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบสองชั้นที่ประกอบด้วยจำนวนนิวรอน 2N+1 ในชั้นแรก โดยปรับให้เหมาะกับสัญญาณอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้เป็นเครื่องมือได้อย่างเที่ยงตรงในทุกหน้าที่การใช้งานของโครงข่าย ในอินพุท N จำนวน (สำหรับ N >= 2)

ดังนั้นในปัญหานี้เริ่มแรกจะเลือกจำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 3 ชั้นและมีจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นใน (รวมทั้งโหนดที่ใช้ในการไบอัส) หลายแบบ ทั้งนี้ในการทดลองเราจะการเปลี่ยนจำนวนโหนดเป็น 24 (ครึ่งหนึ่งของอินพุท) , 47 (เท่ากับอินพุท) , 74 (1.5 เท่าของอินพุท) และ 94 (2 เท่าของอินพุท)



รูปที่ 6-4 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ แบบหนึ่ง โดยเป็นโครงข่ายที่มีการคำนวณไปข้างหน้าขนาด 3 ชั้นซ่อน โดยแต่ละชั้นซ่อนมีนิวรอนเท่ากับ 24 นิวรอน

ฟังก์ชั่นกระตุ้นที่เลือกใช้คือฟังก์ชั่นซิกมอยด์ (Sigmoid Function) เนื่องจากเป็นฟังก์ชั่นกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้นและสามารถสร้างขอบเขตการตัดสินใจที่มีลักษณะโค้งมนได้ ซึ่งจะเหมาะกับปัญหาการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เพราะมีความซับซ้อนสูงมาก

การเรียนรู้ที่เลือกคือการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-Propagation Leaning) ทั้งนี้เพราะใช้กับโครงข่ายที่มีลักษณะคำนวณไปข้างหน้าได้ โดยทดลองค่าของอัตราการเรียนรู้ที่แตกต่างกันคือ 0.2 , 0.4 , 0.6 และ 0.8

เทอมการเร่งในการทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยลงในเวลาที่รวดเร็วขึ้น ในการเรียนรู้นี้จะใช้ค่าโมเมนตัม โดยทดลองที่ค่า 0.2 , 0.4 , 0.6 และ 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่าย

ข้อมูลของคู่รูปแบบอินพุทและเอาท์พุทที่สอดคล้องกันจะได้จากสถานะของการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในกรณีที่เกิดความผิดปกติเพียงตำแหน่งเดียว (Single Fault) โดยที่สัญญาณจากอุปกรณ์ป้องกันครบตามหลักการป้องกัน ซึ่งในระบบไฟฟ้ากำลังจริง ข้อมูลเหล่านี้อาจจะได้จากตารางการป้องกันของระบบไฟฟ้ากำลังหรือจากผู้ปฏิบัติงานในระบบที่มีความชำนาญสูง

ตัวอย่างเช่นเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่ไลน์ 9 เนื่องจากกระแสเกิน โดยมีรีเลย์ที่ทำงาน คือ รีเลย์ L9 และเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงาน คือ CB28

รูปแบบอินพุทที่ป้อนเข้าสู่โครงข่ายคือ

0000000000000000000000000001000000000000000010000

โดยเรียงตามลำดับของสัญญาณ และโหนดในชั้นอินพุทดังนี้

CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CB11, CB12, CB13, CB14, CB15, CB16, CB17, CB18, CB19, CB20, CB21, CB22, CB23, CB24, CB25, CB26, CB27, CB28, BMRA, BMRB, BMRC, BMRD, BMRE, BMRF, LMR1, LMR2, LMR3, LMR4, LMR5, LMR6, LMR7, LMR8, LMR9, TMR1, TMR2, TMR3, TMR4

รูปแบบเอาท์พุทที่ป้อนให้กับโครงข่าย (ใช้สอนโครงข่าย)

0000000000000010000

โดยเรียงตามลำดับของสัญญาณ และโหนดในชั้นเอาท์พุทดังนี้

BusA, BusB, BusC, Bus D, BusE, BusF, Line1, Line2, Line3, Line4, Line5, Line6, Line7, Line8, Line9, Tr1, Tr2, Tr3, Tr4

หรือในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่ Bus A เนื่องจากการลัดวงจรของบัสบาร์ โดยมีรีเลย์ที่ทำงาน คือ รีเลย์ BMRA และเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงาน คือ CB1, CB2

รูปแบบอินพุทที่ป้อนเข้าสู่โครงข่ายคือ

1100000000000000000000000000100000 0000000000000

รูปแบบเอาท์พุทที่ป้อนให้กับโครงข่าย (ใช้สอนโครงข่าย)

1000000000000000000

เมื่อพิจารณาข้อมูลอินพุท จะมีเซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ 7 ตัวที่แทรกอยู่ในตำแหน่งต่างๆ คือ CB3, CB4, CB7, CB8, CB11, CB12 และ CB18 โดยข้อมูลในการฝึกหัดโครงข่ายในทุกๆ รูปแบบจะมีค่าเป็น 0 ซึ่งจะใช้ทดสอบผลตอบสนองของโครงข่ายในข้อมูลอินพุทที่ไม่มีการทำงาน และลำดับของข้อมูลอินพุทที่ป้อนเข้าโครงข่าย. โดยข้อมูลที่ใช้ในการฝึกหัดทั้งหมด แสดงไว้ในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ... ให้ใช้ได้ ... การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	INPUT	FAULT LOCATION																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		BA	BB	BC	BD	BE	BF	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	T1	T2	T3	T4
CBS	CB 1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	CB 6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	CB 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	CB 10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	CB 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	CB 14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	CB 15	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	CB 17	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	CB 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 20	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 22	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	CB 23	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	CB 24	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	CB 25	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	CB 26	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	CB 27	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	CB 28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
RELAYS	BMR A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BMR B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BMR C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BMR D	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BMR E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BMR F	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LMR 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LMR 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LMR 3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LMR 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LMR 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	LMR 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	LMR 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	LMR 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	LMR 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	TMR 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	TMR 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	TMR 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	TMR 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ตาราง 6-1 แสดงรูปแบบอินพุทที่ป้อนเข้าสู่โครงข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	OUTPUT	FAULT LOCATION																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		BA	BB	BC	BD	BE	BF	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	T1	T2	T3	T4
B	BUS A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q	BUS B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U	BUS C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	BUS D	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P	BUS E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BUS F	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LINE 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LINE 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LINE 3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LINE 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LINE 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	LINE 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	LINE 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	LINE 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	LINE 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	T 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	T 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	T 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ตาราง 6-2 แสดงรูปแบบของเอาท์พุทที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่าย

6.3.3 ค่าน้ำหนักไบแนปส์เริ่มต้นของโครงข่าย

ค่าน้ำหนักสุ่มเริ่มแรกในขบวนการเรียนรู้ในการทดลองนี้ จะใช้ฟังก์ชั่นตัวเลขแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบเกาซ์เซี่ยน (Gaussian) ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แบบนอร์มอล (Normal) เป็นหนึ่งในลักษณะการกระจายของตัวเลขที่มีความสำคัญสูง ตัวอย่างเช่นคลื่นรบกวนทางความร้อนที่มีลักษณะการกระจายแบบนี้ และปรากฏการณ์อื่นๆ อีกหลายอย่างที่สามารถอธิบายด้วยสถิติทางเกาซ์เซี่ยน และทฤษฎีมากมายที่ถูกพัฒนาโดยนักสถิติก็โดยอาศัยสมมุติฐานทางเกาซ์เซี่ยน เป็นหลัก. การกระจายแบบเกาซ์เซี่ยนถูกกำหนดโดยฟังก์ชั่นความหนาแน่นของตัวเลข คือ

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$

เมื่อ m เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean)

และ σ^2 เป็นค่าความแปรปรวน (Variance)

จะพบว่าการกระจายแบบเกาซ์เซี่ยนเมื่อให้ n มีค่ามากๆ ในขณะที่ให้ m เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่มีค่าจำกัดที่แน่นอน และให้ค่าความแปรปรวนมีค่ามากกว่าหนึ่งมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

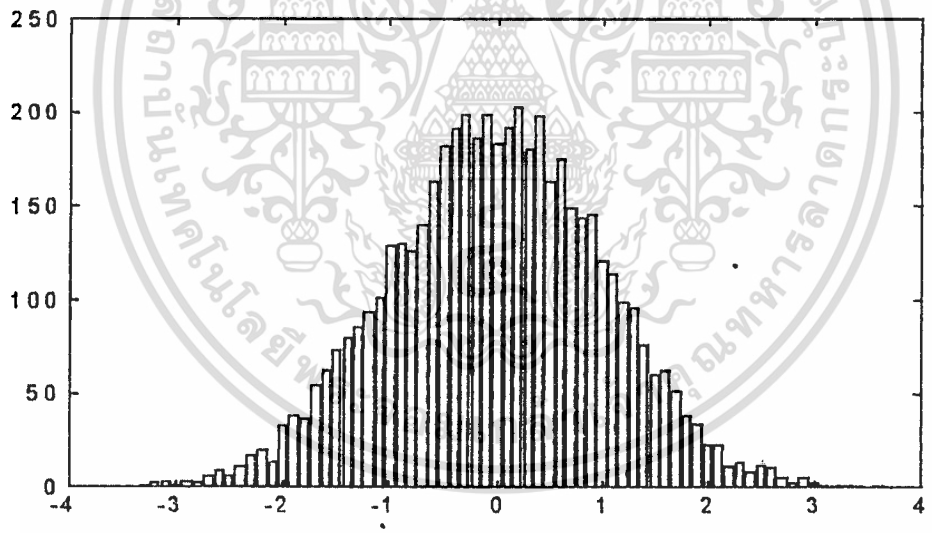
ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มนี้จะสอดคล้องกับโคออร์ดิเนตของแกน x และจุดสูงสุดของฟังก์ชั่นความหนาแน่นจะอยู่ที่ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าตัวแปรสุ่มแบบเกาซ์เซี่ยนโดยมากจะเกิดขึ้นในบริเวณแคบๆ รอบๆ ค่าเฉลี่ย แต่ในบางโอกาสก็อาจเกิดขึ้นห่างจากค่าเฉลี่ยก็ได้

เราสามารถที่จะสร้างตัวเลขสุ่มแบบเกาซ์เซี่ยน โดยใช้คำสั่งใน Matlab ดังนี้

randn(m, n);

ซึ่งจะได้เมตริกซ์ขนาด m x n ที่ประกอบด้วยตัวเลขสุ่มแบบเกาซ์เซี่ยน

ขนาดของเมตริกซ์ค่าน้ำหนักไซแนปส์ของโครงข่ายในตอนเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ จะพิจารณาได้จากจำนวนโหนดในแต่ละชั้น โดยจะรวมถึงค่าธเรชโฮลด์ที่แปลงมาเป็นการไบอัสด้วย โดยที่การไบอัสจะเหมือนกับการเพิ่มโหนดขึ้นมาหนึ่งโหนดในแต่ละชั้นแต่โหนดนั้นไม่มีการประมวลผล และจะมีอินพุทคงที่คือ 1 ดังนั้นค่าธเรชโฮลด์ในแต่ละโหนดก็คือค่าน้ำหนักไซแนปส์ระหว่างโหนดไบอัสกับโหนดนั้นๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 6-4



รูปที่ 6-5 แสดงฮีสโตแกรม (Histogram) ของการสุ่มตัวเลข 1 ครั้ง โดยการสุ่ม 5,000 จำนวนจะพบว่าการกระจายข้อมูลที่เป็นลักษณะเกาซ์เซี่ยนจะให้ฮีสโตแกรม ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระดิ่ง (Bell - Curve) และมีการกระจายของข้อมูลที่มีความหนาแน่นสูงในช่วงใกล้ค่าเฉลี่ย (Mean) โดยค่าที่มากที่สุดในทางซีกบวกและลบคือ 3.576 และ -3.2653 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการวิเคราะห์โครงข่าย

(Artificial Neural Network Analysis Result)

7.1 ผลจากการฝึกหัดโครงข่าย

การเปรียบเทียบความสามารถในลักษณะต่างๆของโครงข่าย จะแทนโครงข่ายแต่ละแบบด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

โครงข่ายทั้งสี่จะมีจำนวนโหนด (นิวรอน) ในชั้นอินพุทเท่ากับ 47 โหนด และมีจำนวนโหนดในชั้นเอาท์พุทเท่ากับ 19 โหนด ลักษณะของโครงข่ายเป็นลักษณะคำนวณไปข้างหน้าและใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ โดยที่

- โครงข่ายประสาทเทียม A เป็นโครงข่ายขนาด 3 ชั้นซ่อน โดยแต่ละชั้นซ่อนจะมี 94 โหนด
- โครงข่ายประสาทเทียม B เป็นโครงข่ายขนาด 3 ชั้นซ่อน โดยแต่ละชั้นซ่อนจะมี 70 โหนด
- โครงข่ายประสาทเทียม C เป็นโครงข่ายขนาด 3 ชั้นซ่อน โดยแต่ละชั้นซ่อนจะมี 47 โหนด
- โครงข่ายประสาทเทียม D เป็นโครงข่ายขนาด 3 ชั้นซ่อน โดยแต่ละชั้นซ่อนจะมี 24 โหนด

จากการเขียนโปรแกรมในการทดสอบอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ ซึ่งทำงานบนโปรแกรม Matlab Version 4.2c.1 โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล CPU Intel Pentium Processor 150 MHz หน่วยความจำ 32 MB และทำงานบนหน่วยปฏิบัติการ (Operating System) Windows NT Server Version 4. พบว่าค่าความผิดพลาดรวมของโครงข่ายจะมีลักษณะที่ลาดลงตามทฤษฎีของเกรเดียนเดสเซนต์ และโครงข่ายสามารถเรียนรู้รูปแบบอินพุท (ตามตารางที่ 6-1) ได้ทุกรูปแบบ โดยค่าความผิดพลาดรวมของรูปแบบทั้งหมดมีเพียง 0.01 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของการฝึกหัดโครงข่ายจะพบว่าในช่วงแรกของการเรียนรู้ โครงข่ายจะปรับค่าเอาท์พุททุกตัวให้มีค่าที่ใกล้เคียงค่าศูนย์ในช่วงจำนวนรอบช่วงหนึ่ง ในลักษณะที่เหมือนกับโครงข่ายติดอยู่ในช่วงต่ำสุดแบบชั่วคราว (Temporary Minimum) ดังรูปที่ 7-1 และ 7-2 หลังจากนั้นโครงข่ายจะเริ่มให้ค่าผลตอบสนองในแต่ละรูปแบบอินพุทที่ใกล้เคียงกับค่าเอาท์พุท ดังรูป 7-3 และ 7-5 ในช่วงนี้จะสังเกตได้ว่าค่าความผิดพลาดจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงตำแหน่งค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ ดังรูป 7-6โปรแกรมจะหยุดขบวนการเรียนรู้และจัดเก็บค่าน้ำหนักไซแนปส์สุดท้ายในขณะนั้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่อัตราการเรียนรู้มีค่าที่ไม่เหมาะกับโครงข่ายจะทำให้ฟังก์ชั่นความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยไม่ลู่เข้า หรือใช้จำนวนรอบในการเรียนรู้ที่มาก ทั้งนี้เพราะเกิดการแกว่ง (Oscillate) ของฟังก์ชั่นความผิดพลาดที่มีสาเหตุจากค่าน้ำหนักไซแนปซ์ในโครงข่าย ดังรูปที่ 7-9 และ รูปที่ 7-10 ที่เริ่มมีการแกว่งมากขึ้น.

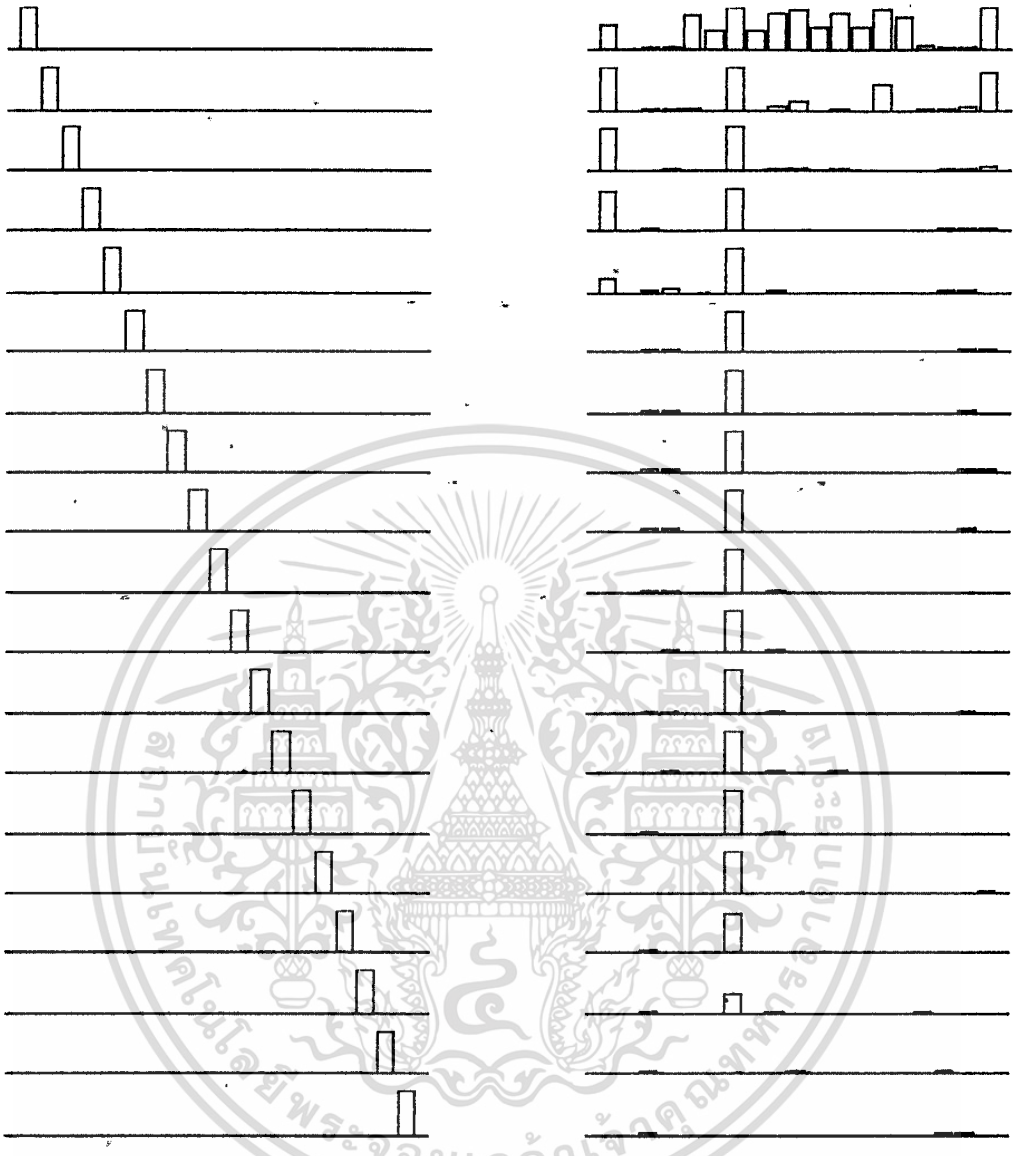
ในการพิจารณาค่าอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัมที่เหมาะสมในโครงข่ายหนึ่งๆ จะทำโดยใช้การเฝ้าดูการฝึกหัดของโครงข่ายโดยการตั้งค่าอัตราการเรียนรู้ไว้ที่ค่ากลางค่าหนึ่งซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ 0.5 และทำการฝึกหัดโครงข่ายใหม่ที่ค่าการเรียนรู้ใหม่ พิจารณาแนวโน้มของการลาดลงของค่าความผิดพลาดของโครงข่าย ซึ่งถ้ามีแนวโน้มในการลดลงที่สูงกว่าก็จะใช้ค่านี้เป็นค่าเปรียบเทียบใหม่ ซึ่งถ้าเพิ่มถ้าขึ้นไปจนกระทั่งค่าความผิดพลาดของโครงข่ายเกิดการแกว่งแล้ว ก็จะใช้อัตราการการเรียนรู้ค่าเดิมนั้น

ถ้าเราพิจารณาค่าความผิดพลาดในฟังก์ชั่นของค่าน้ำหนักไซแนปส์จะมีค่าน้ำหนักบางค่าที่สัมพันธ์กับรูปแบบอินพุทที่จะให้ความผิดพลาดอยู่ในจุดต่ำสุดแบบโลคอล การใช้โมเมนตัมในขั้นตอนขบวนการเรียนรู้ จะเป็นผลทำให้ความผิดพลาดของโครงข่ายสามารถหลุดออกมาจากค่าต่ำสุดแบบโลคอลที่มีลักษณะที่ตื้นๆ ได้

เมื่อสรุปการใช้อัตราการเรียนรู้และค่าน้ำหนักไซแนปส์ในโครงข่ายทั้งสี่แบบที่มีค่าต่างๆ กัน จะพบว่าแนวโน้มของค่าอัตราการเรียนรู้ที่มากขึ้นจะทำให้โครงข่ายทั้งสี่แบบใช้รอบในการเรียนรู้น้อยลง (ค่าโมเมนตัมเท่ากับศูนย์). เมื่อคงค่าอัตราการเรียนรู้ไว้ที่ 0.8 และปรับค่าโมเมนตัมให้เพิ่มขึ้นจะพบว่าโครงข่ายทั้งสี่แบบตอบสนองต่อค่าโมเมนตัมไม่เท่ากัน การเพิ่มค่าโมเมนตัมขึ้นทำให้โครงข่ายมีรอบการเรียนรู้ที่ลดลง แต่ถ้าเพิ่มค่ามากกว่านี้จะทำให้ค่าความผิดพลาดของโครงข่ายไม่สามารถปรับตัวลงได้หรือไม่ลู่เข้านั่นเอง เช่นในกรณีของโครงข่ายที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 47 โหนด (โครงข่ายแบบ C) จะพบว่า ค่าโมเมนตัมที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้โครงข่ายใช้รอบในการฝึกหัดที่น้อยลง และมีค่าน้อยที่สุด ที่ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.6 แต่ถ้าฝึกหัดโครงข่ายโดยใช้ค่าโมเมนตัมที่ค่า 0.8 จะทำให้ค่าความผิดพลาดของโครงข่ายไม่ลู่เข้า.

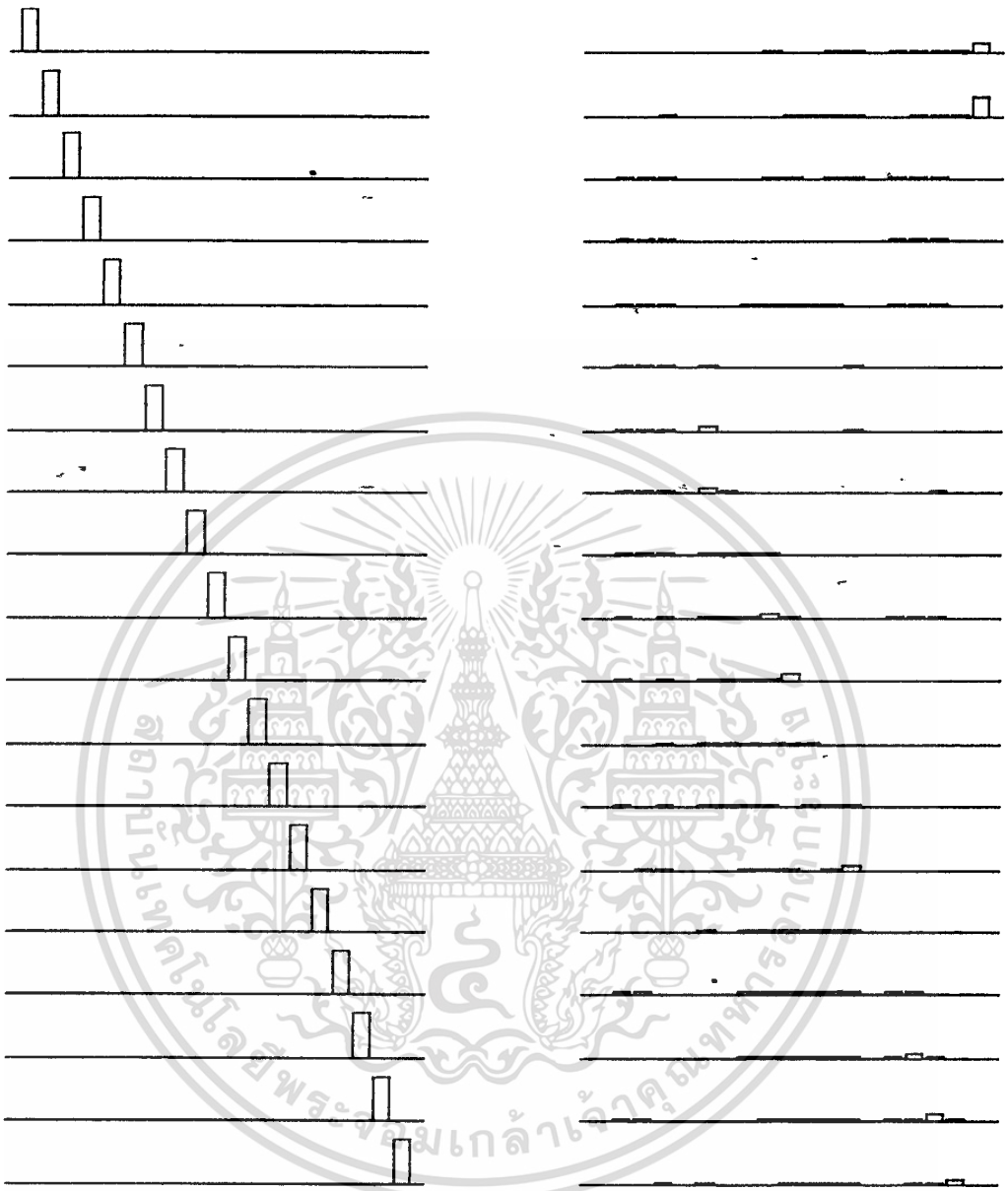
โครงข่ายทั้งสี่แบบจะใช้เวลาต่อรอบในการเรียนรู้ที่ไม่เท่ากัน โดยที่โครงข่ายแบบ A จะใช้เวลาในการคำนวณที่มากที่สุด เนื่องจากโครงข่ายมีจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นซ่อนที่มากที่สุด และจากการที่โปรแกรมจำลองการทำงานบนวินโดวส์ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ทำงานหลายอย่างในเวลาพร้อมๆ กัน (Multitasking) ทำให้มีการแบ่งเวลาการตอบสนองต่อโปรแกรมต่างๆ ของโปรเซสเซอร์ (Processor) โดยรอบการคำนวณในการเรียนรู้ของโครงข่ายแบบ A มีค่าประมาณ 7-8 วินาที ส่วนในโครงข่ายแบบ B, C และ D จะใช้เวลาน้อยลง อยู่ในช่วงประมาณ 7 วินาที.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



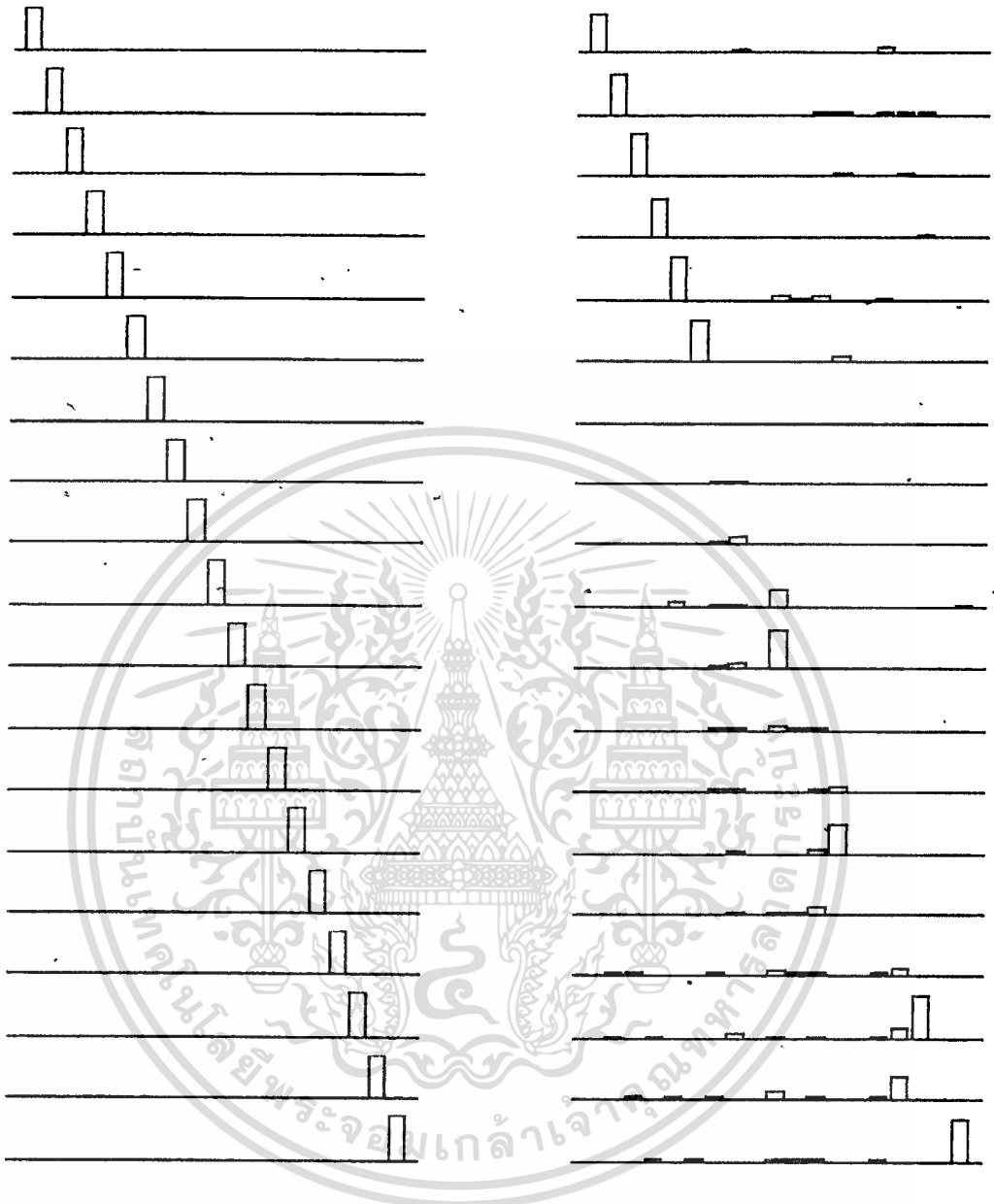
รูปที่ 7-1 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมาย (ซ้าย) ที่ต้องการ เทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองที่เอาท์พุทของโครงข่ายแบบ A (ขวา) ทั้ง 19 รูปแบบอินพุท (จากบนลงล่าง) เมื่อเริ่มฝึกหัดโครงข่าย ซึ่งมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และกราฟแท่งรูปซ้ายมือมีความสูง 1 หน่วย (ลอจิก 1) โดยโหนดเอาท์พุทจะเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา (จากโหนด 1 - 19). ในรอบแรกของการฝึกหัด โครงข่ายจะผลตอบสนองที่เอาท์พุทที่มีค่าไม่แน่นอน เนื่องจากผลของค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่สุ่มขึ้นมา และเมื่อผ่านรอบการคำนวณอัลกอริทึมการเรียนรู้จะทำให้ผลตอบสนองของโหนดเอาท์พุทที่ผิดพลาดมีค่าลดลง เช่นโหนดเอาท์พุทตัวที่ 7 ที่มีการปรับตัวลดลง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-2 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมาย (ซ้าย) ที่ต้องการ เทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองที่เอาท์พุทของโครงข่ายแบบ A (ขวา) ทั้ง 19 รูปแบบอินพุท (จากบนลงล่าง) เมื่อรอบการฝึกหัดผ่านไป 30 รอบ จะพบว่าโครงข่ายให้ผลตอบสนองที่เอาท์พุทที่มีค่าน้อยมาก (ใกล้เคียงศูนย์) ในทุกรูปแบบอินพุท และยังมีค่าความผิดพลาดโดยรวมที่สูงมาก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

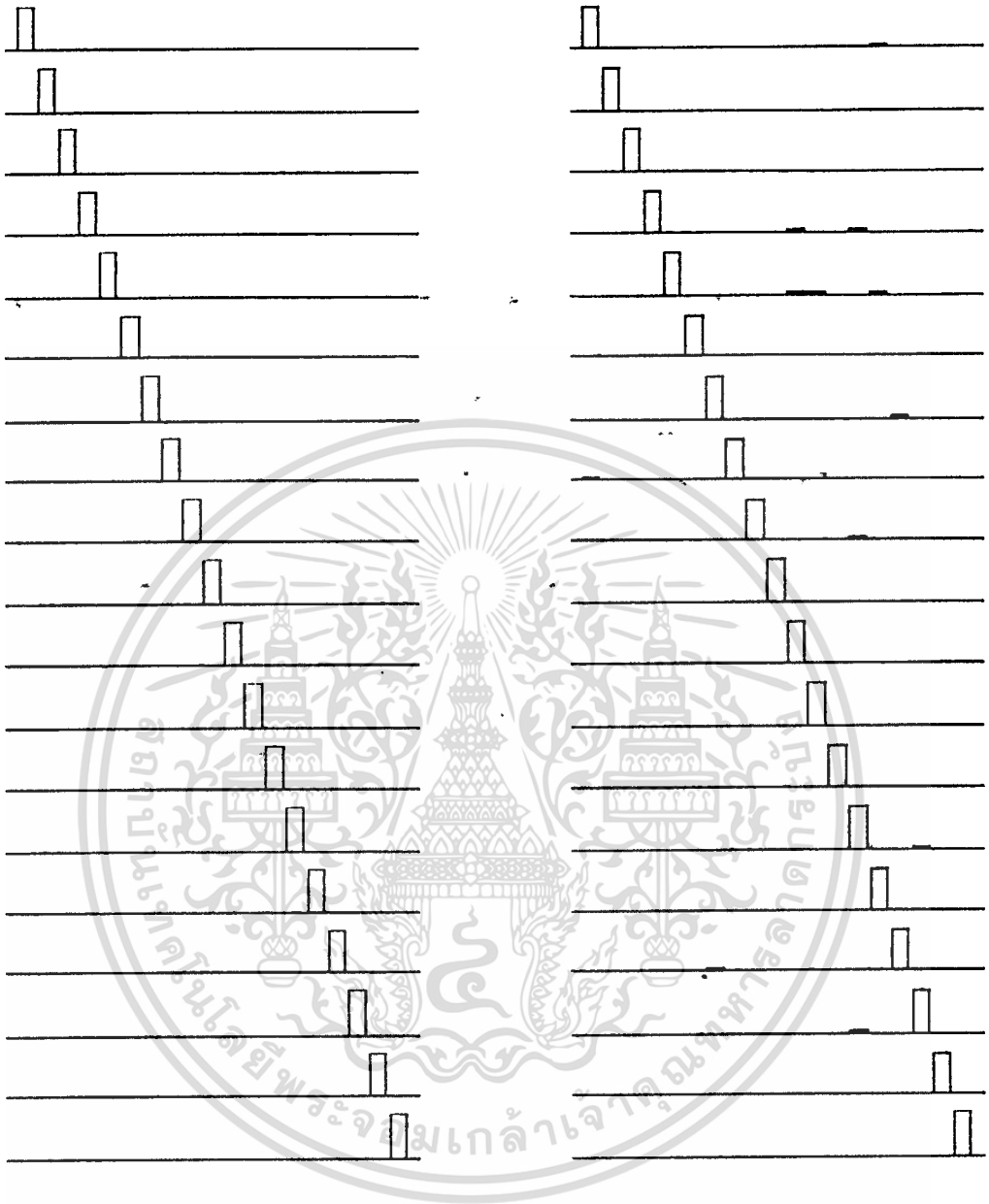


รูปที่ 7-3 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมาย (ซ้าย) ที่ต้องการ เทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองที่เอาท์พุทของโครงข่ายแบบ A (ขวา) ทั้ง 19 รูปแบบอินพุท (จากบนลงล่าง) เมื่อรอบการฝึกหัดผ่านไป 60 รอบ จะพบว่าโครงข่ายมีแนวโน้มการตอบสนองเอาท์พุทที่คล้ายกับรูปแบบอินพุทในบางรูปแบบ แต่ในบางรูปแบบโครงข่ายก็ให้ผลตอบสนองที่ผิดไปจากเอาท์พุทที่ต้องการ และในบางรูปแบบอินพุทโครงข่ายให้ผลตอบสนองที่ต่ำมากในทุกโหนด เช่นในรูปแบบอินพุทที่ 7 โหนดที่มีเอาท์พุทสูงสุดมีค่าเพียง 0.0272 และค่าความผิดพลาดโดยรวมเริ่มมีค่าลดลง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

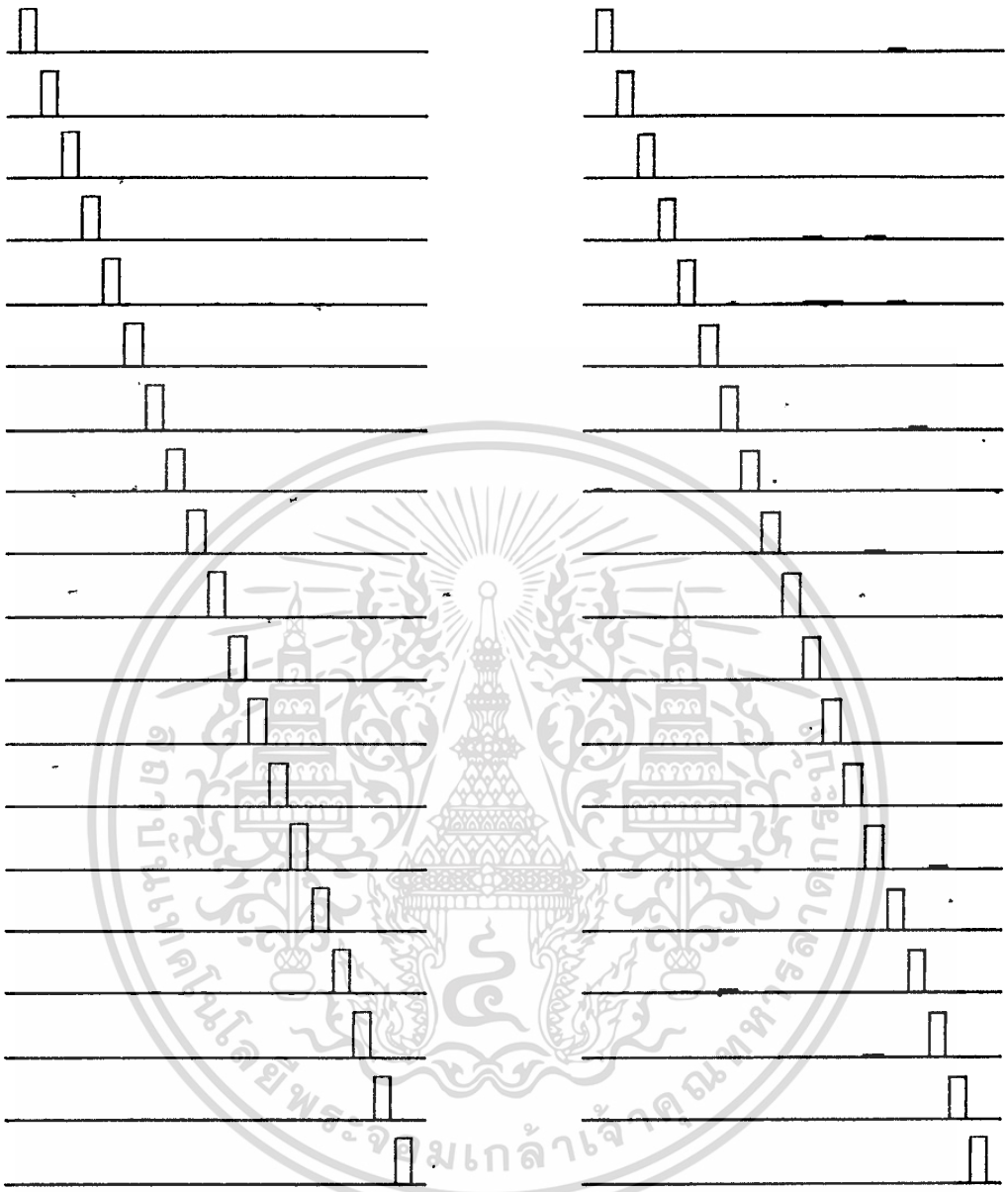
รูปที่ 7-4 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมาย (ซ้าย) ที่ต้องการ เทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองที่เอาท์พุทของโครงข่ายแบบ A (ขวา) ทั้ง 19 รูปแบบอินพุท (จากบนลงล่าง) เมื่อรอบการฝึกหัดผ่านไป 90 รอบ จะพบว่าโครงข่ายสร้างผลตอบสนองเอาท์พุทที่คล้ายกับเอาท์พุทที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น แต่มีค่าผลตอบสนองที่ไม่มากนัก (ประมาณ 0.5-0.7) และบางรูปแบบอินพุทโครงข่ายยังไม่สร้างผลตอบสนองที่เด่นชัดมากนัก ซึ่งค่าความผิดพลาดโดยรวมมีค่าลดลงอย่างมาก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



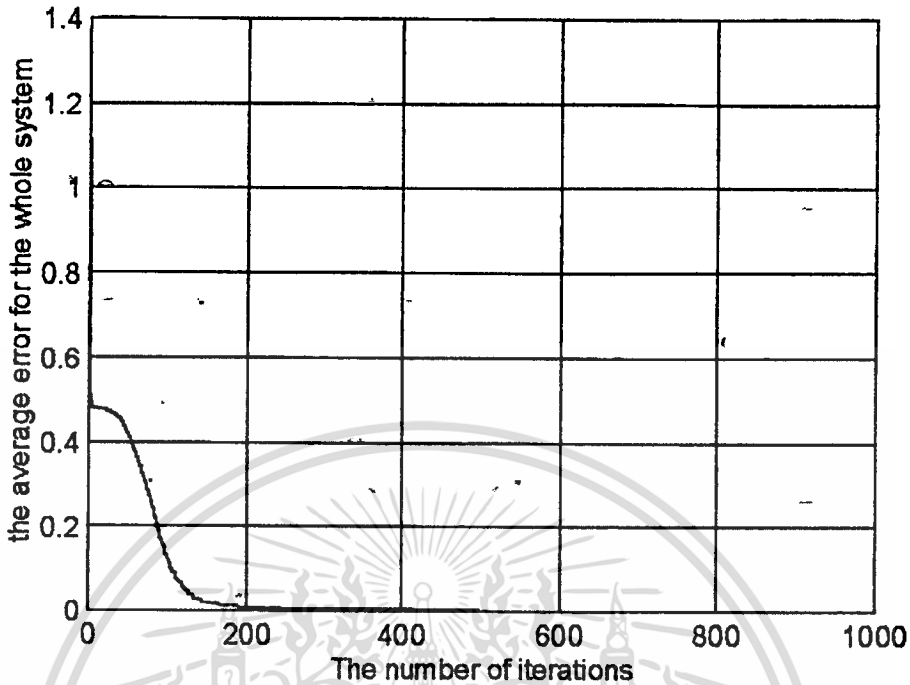
รูปที่ 7-5 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมาย (ซ้าย) ที่ต้องการ เทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองที่เอาท์พุทของโครงข่ายแบบ A (ขวา) ทั้ง 19 รูปแบบอินพุท (จากบนลงล่าง) เมื่อรอบการฝึกหัดผ่านไป 120 รอบ จะพบว่าโครงข่ายสร้างผลตอบสนองเอาท์พุทที่เหมือนกับเอาท์พุทที่ต้องการในทุกรูปแบบอินพุท และมีค่าผลตอบสนองที่สูงขึ้น (ประมาณ 0.7-0.9) และค่าความผิดพลาดโดยรวมมีค่าต่ำลงอย่างมาก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

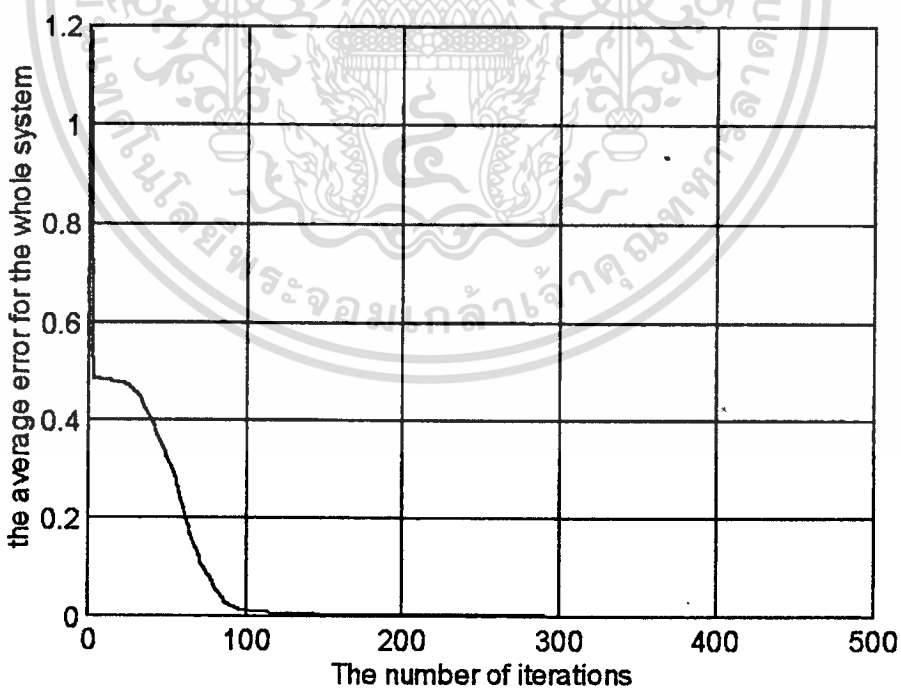


รูปที่ 7-6 แสดงค่าเอาท์พุทเป้าหมาย (ซ้าย) ที่ต้องการ เทียบกับเอาท์พุทที่ได้จากผลตอบสนองที่เอาท์พุทของโครงข่ายแบบ A (ขวา) ทั้ง 19 รูปแบบอินพุท (จากบนลงล่าง) ในรอบสุดท้ายของการฝึกหัดโครงข่าย โดยหยุดการฝึกหัดที่ระดับความผิดพลาดโดยรวมเท่ากับ 0.001. จะพบว่าโครงข่ายสร้างผลตอบสนองเอาท์พุทที่เหมือนกับเอาท์พุทที่ต้องการในทุกรูปแบบอินพุท และมีค่าผลตอบสนองที่สูงมาก (อยู่ในช่วง 0.9538-0.9834). ค่าตอบสนองในโหนดอื่นบางโหนดยังมีค่าไม่เป็น 0 แต่จะมีค่าน้อยมาก (อยู่ในช่วง 0-0.0313).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

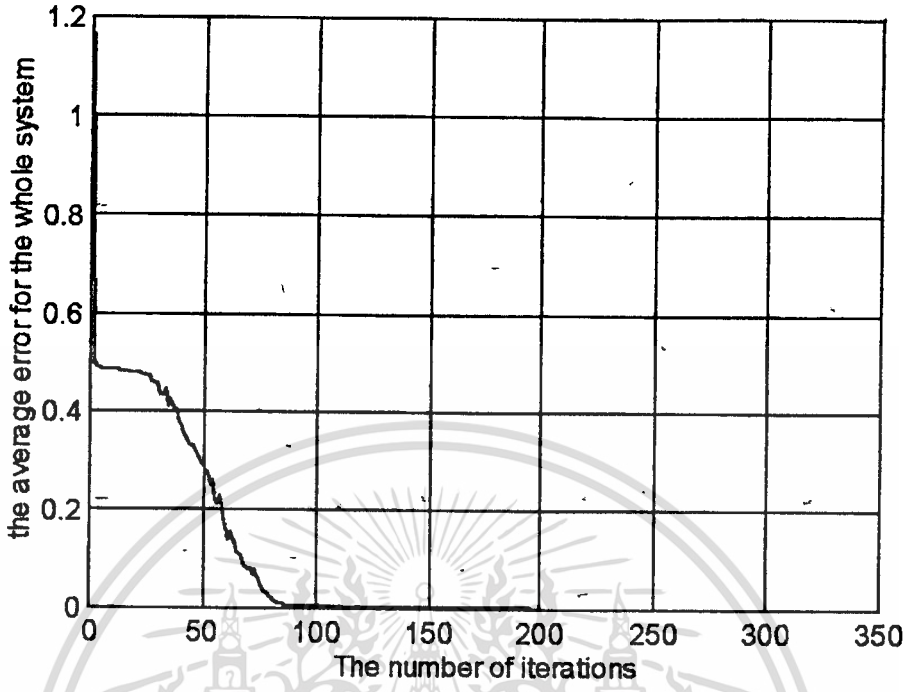


รูปที่ 7-7 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.2$ และ $\alpha = 0$

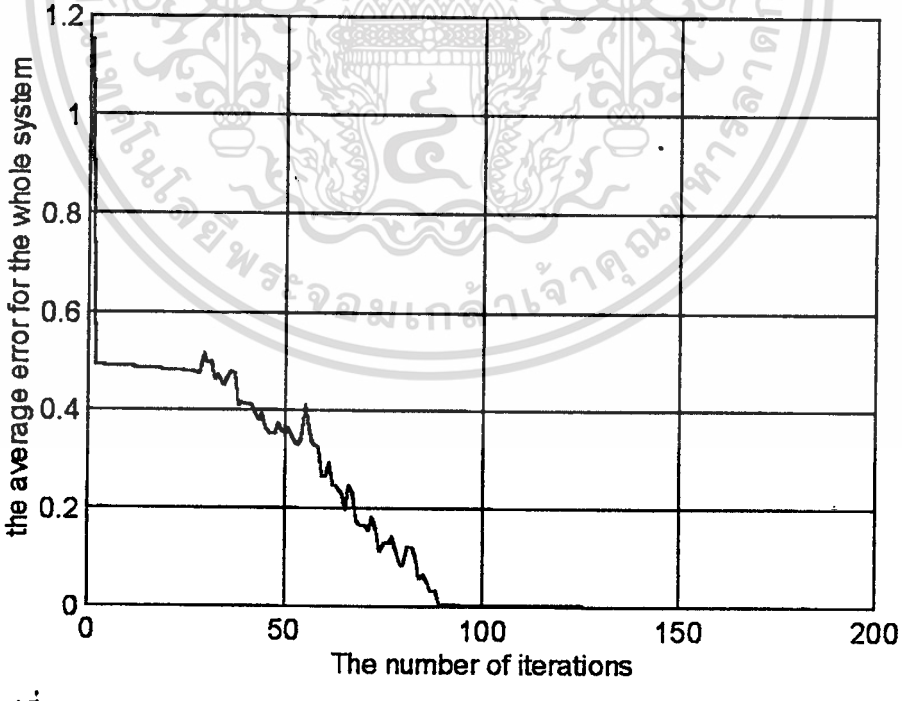


รูปที่ 7-8 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.4$ และ $\alpha = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

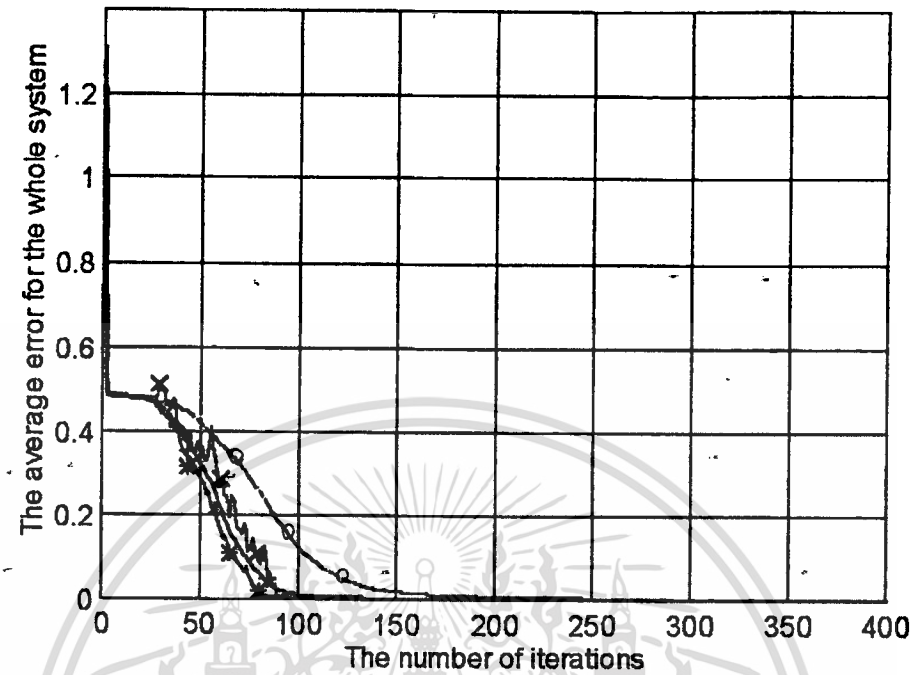


รูปที่ 7-9 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.6$ และ $\alpha = 0$



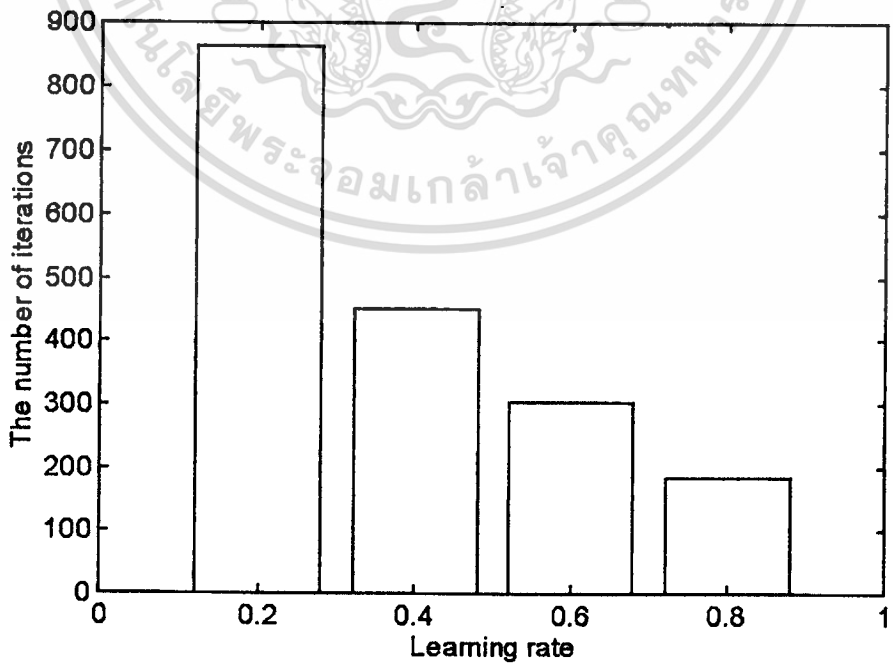
รูปที่ 7-10 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



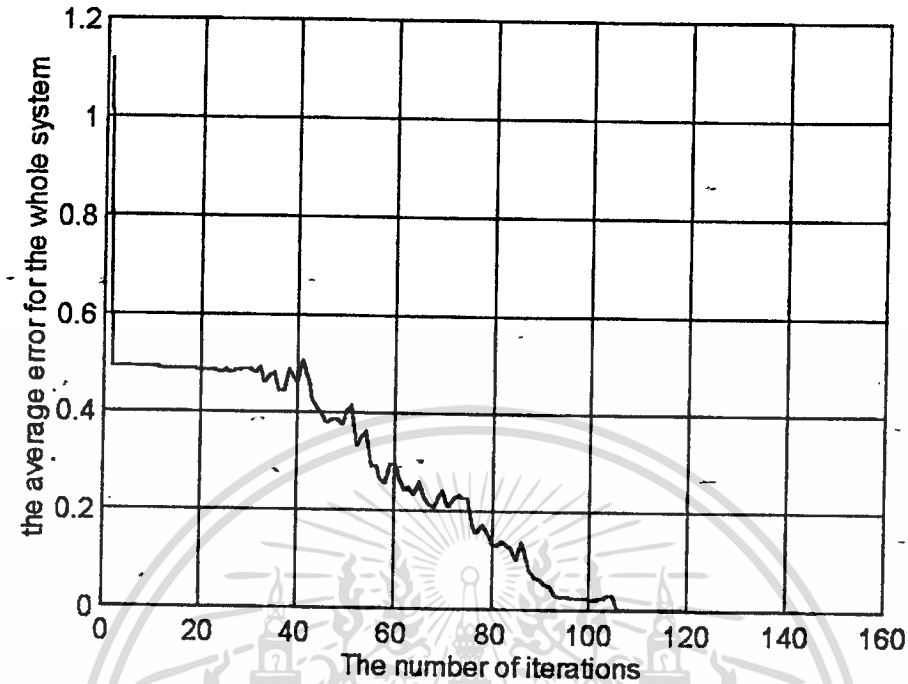
รูปที่ 7-11. แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายขนาด แบบ A โดยมีค่า η = 0.8(x), 0.6(*), 0.4(+), 0.2(o) และ $\alpha = 0$

จากกราฟจะพบว่า การลู่เข้าสู่ความผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้ (0.001) จะเร็วมากขึ้นเมื่อค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้น้ำหนักเริ่มต้นทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากัน

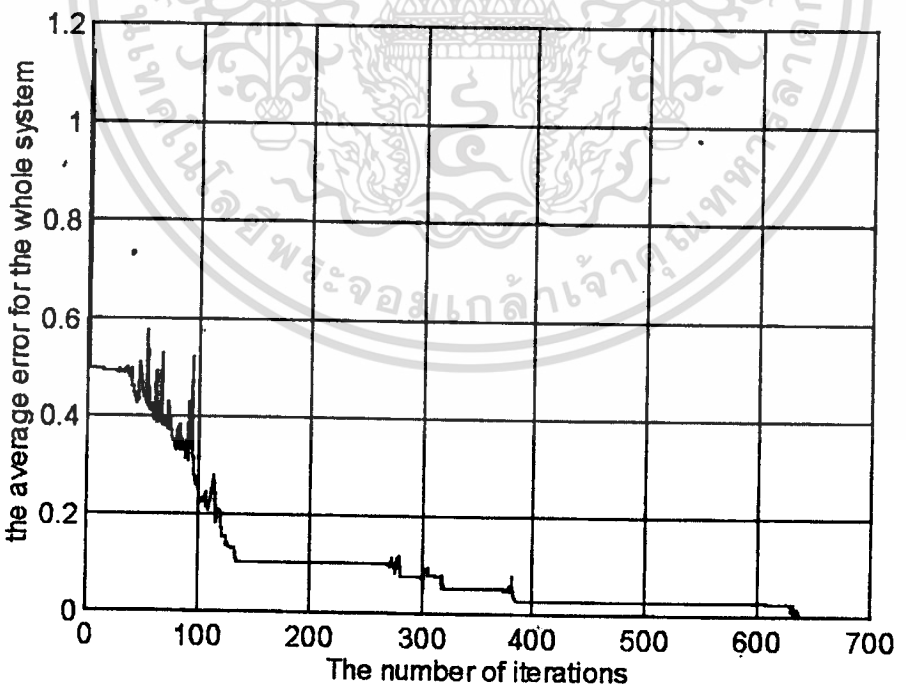


รูปที่ 7-12 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

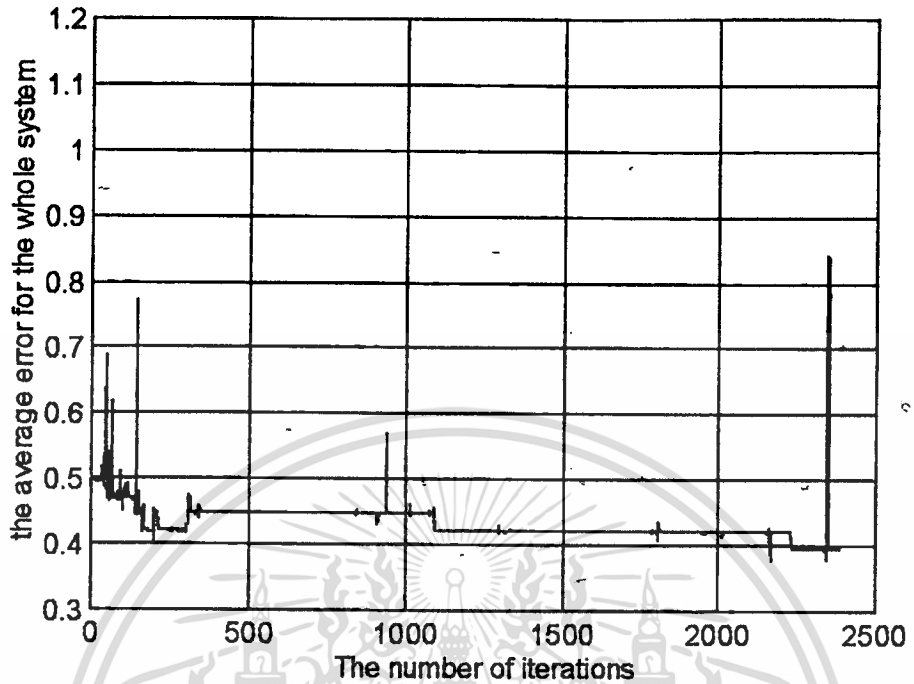


รูปที่ 7-13 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$

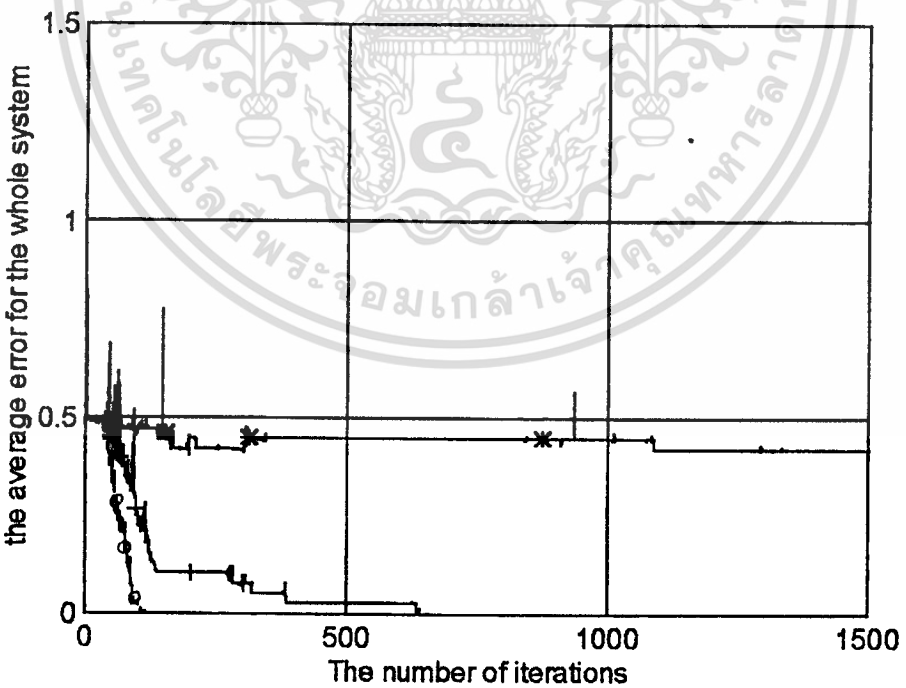


รูปที่ 7-14 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

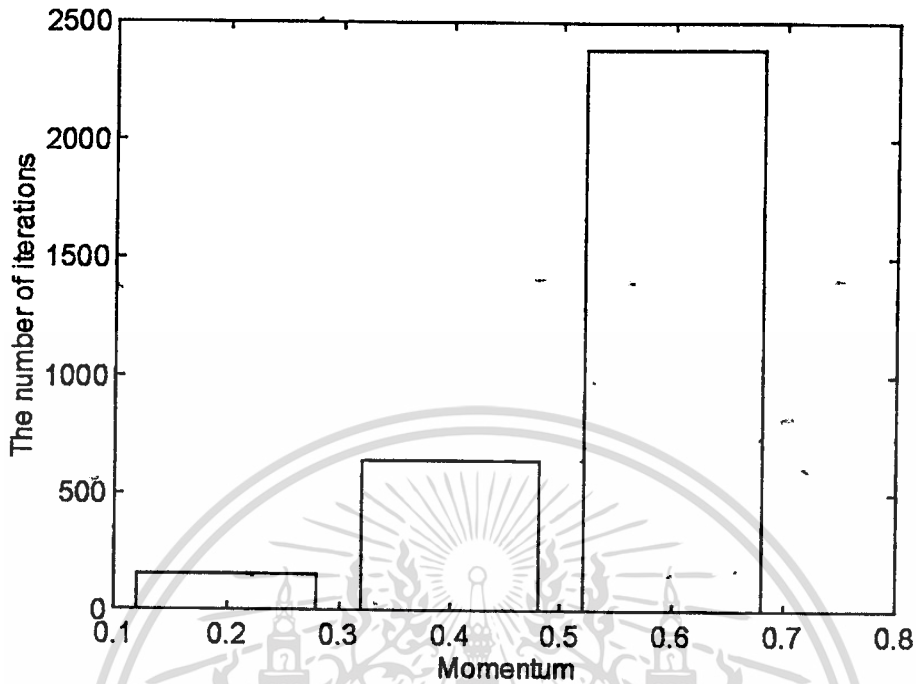


รูปที่ 7-15 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.6$

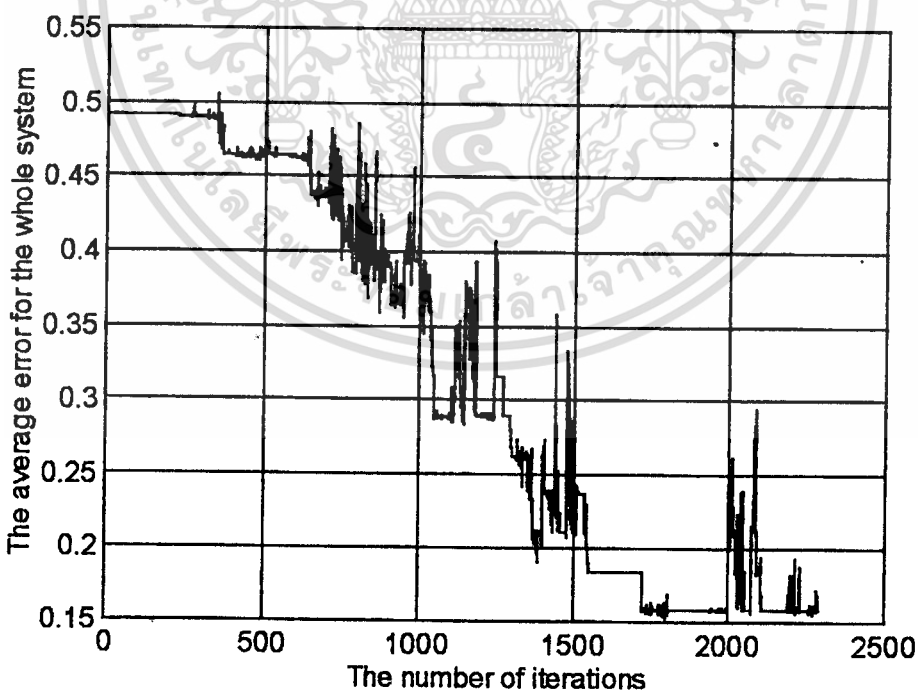


รูปที่ 7-16 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$ (o),0.4 (+),0.6(*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



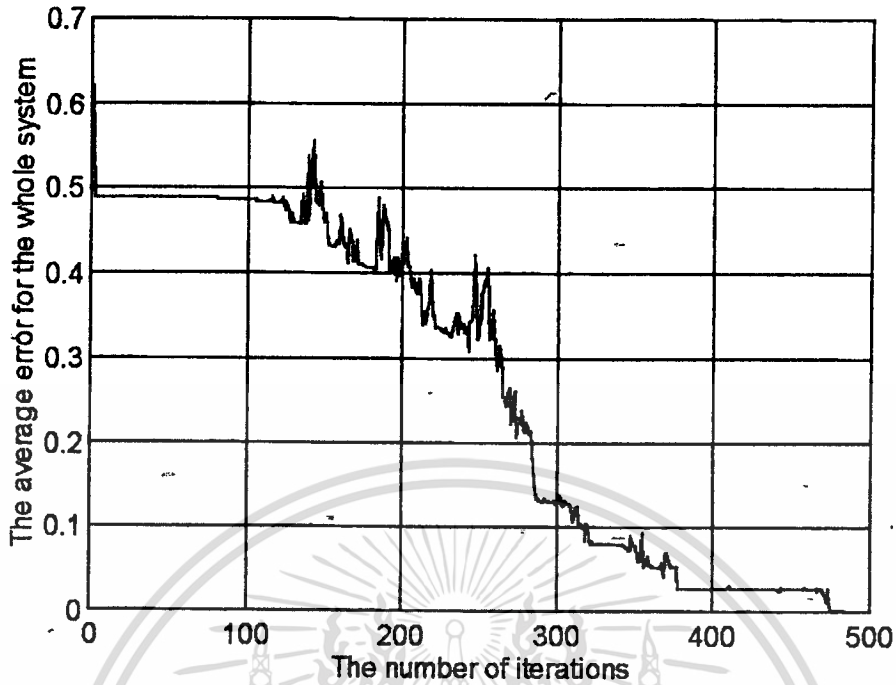
รูปที่ 7-17แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ A



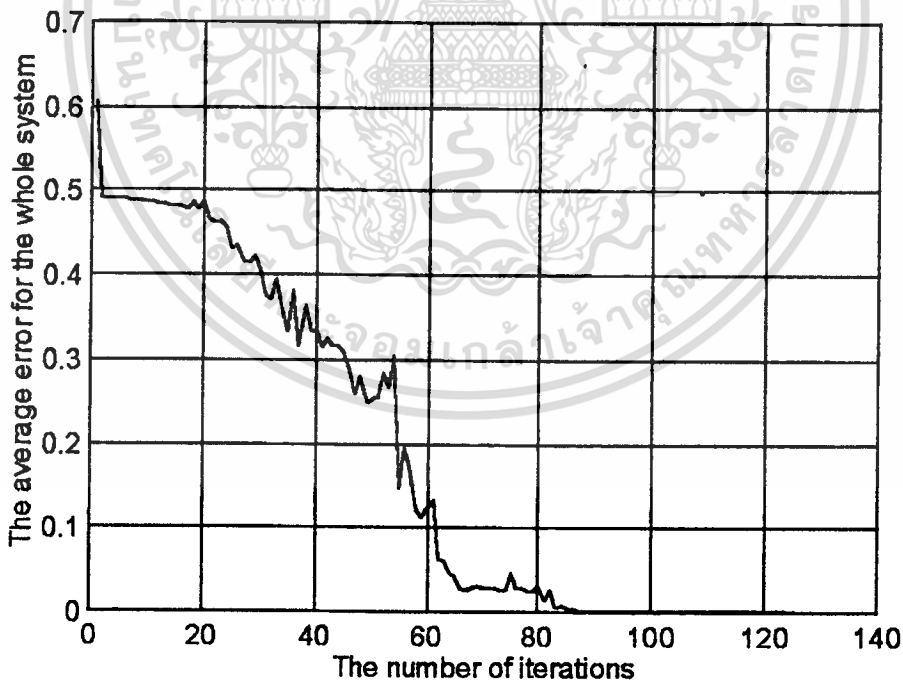
รูปที่ 7-18 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A

โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -0.5 ถึง 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

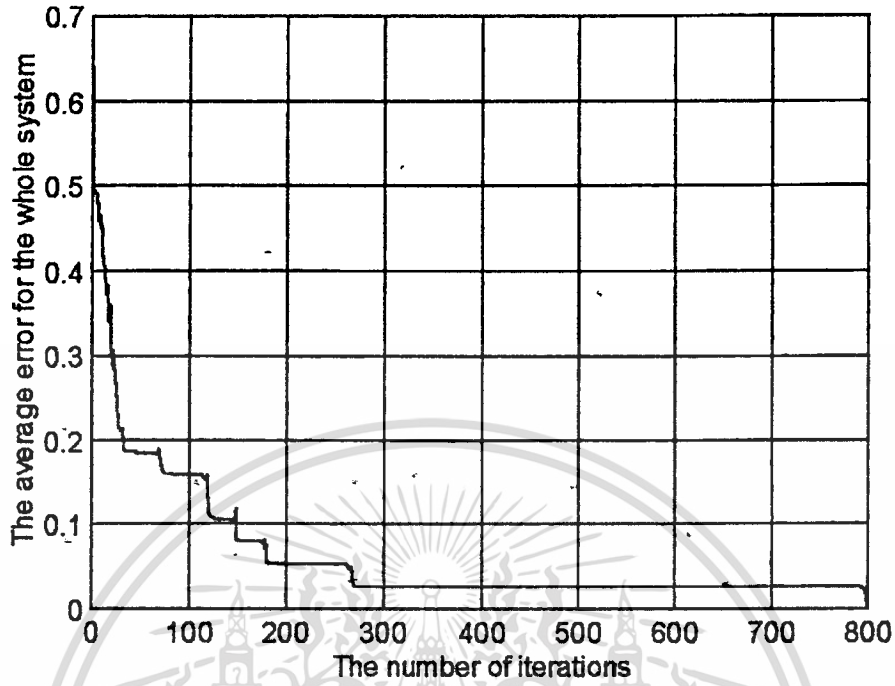


รูปที่ 7-19 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่า น้ำหนักเริ่มต้น -1 ถึง 1

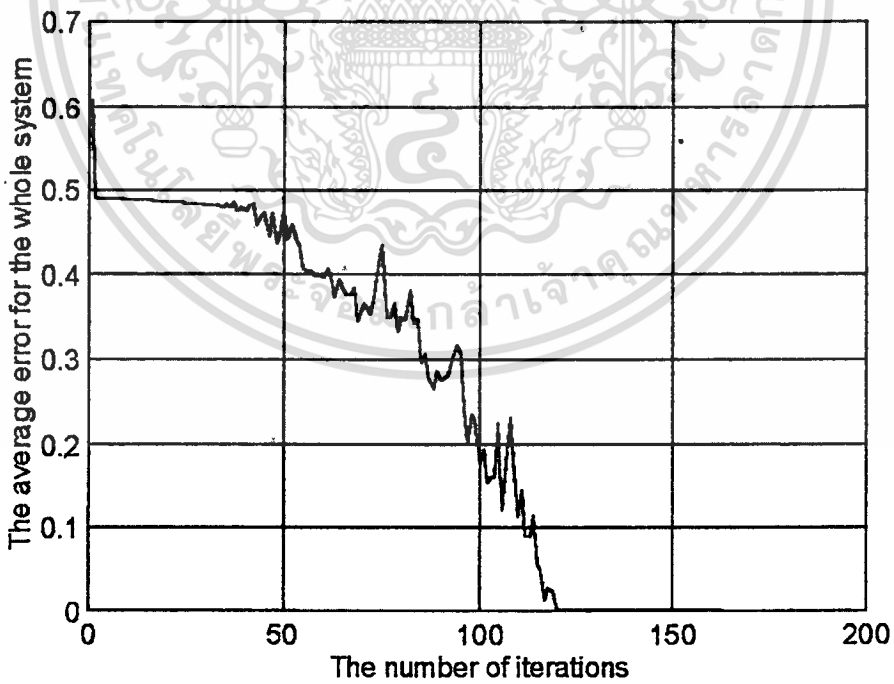


รูปที่ 7-20 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -2 ถึง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

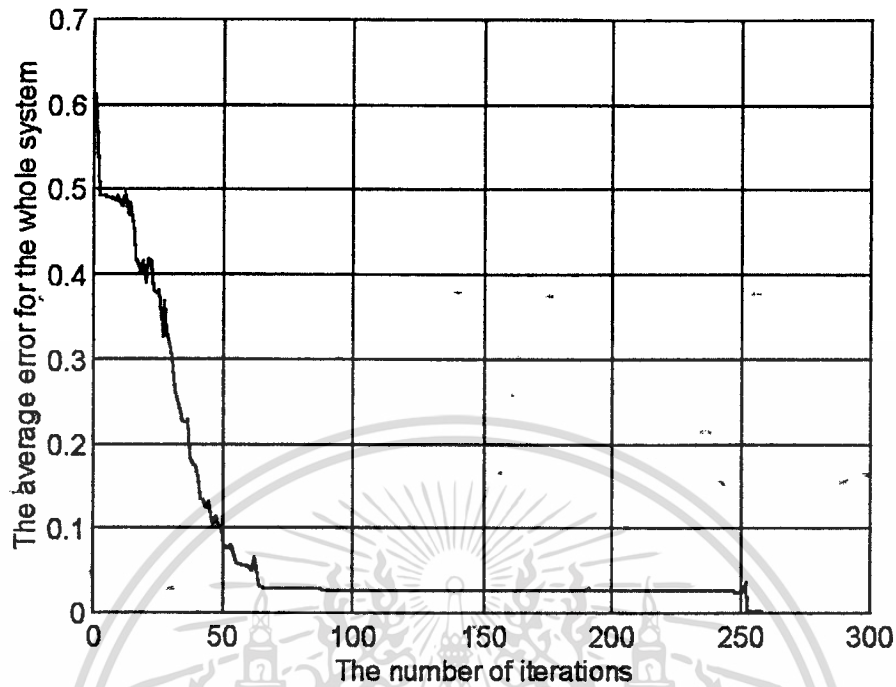


รูปที่ 7-21 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$,$\alpha = 0.2$และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -3 ถึง 3

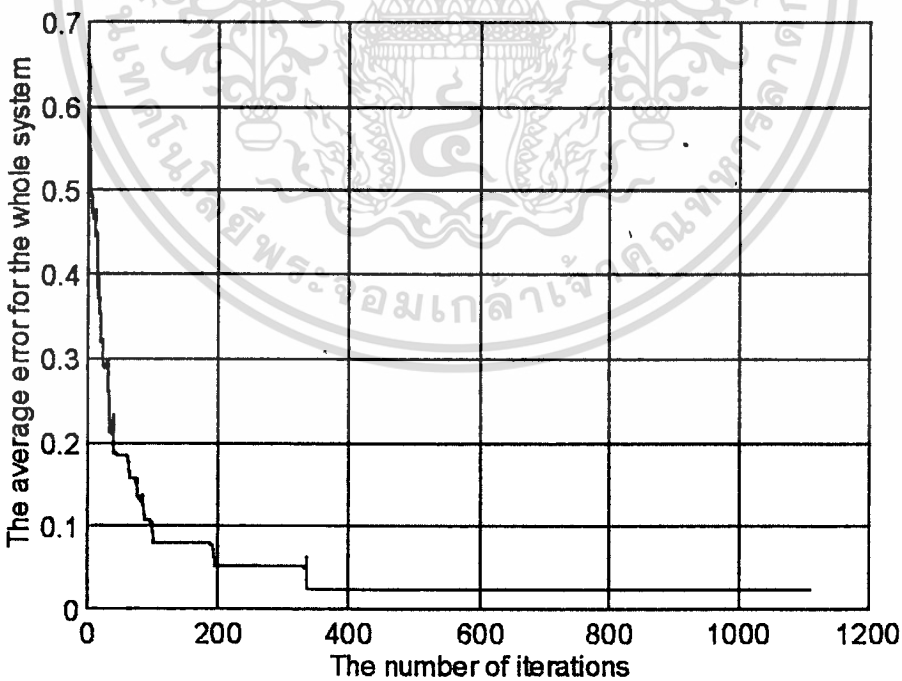


รูปที่ 7-22 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -1.5 ถึง 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

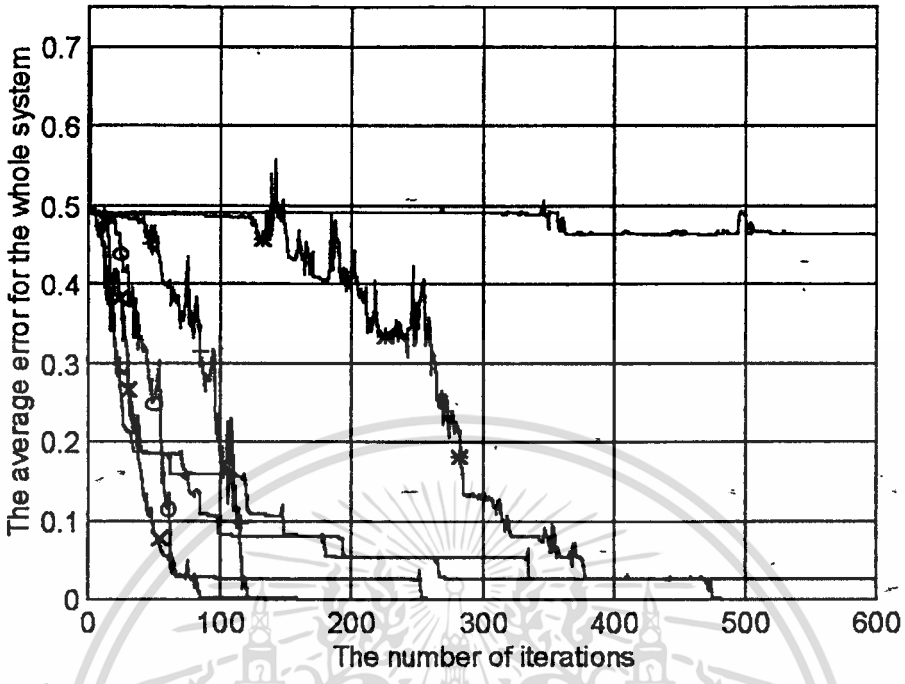


รูปที่ 7-23 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$,$\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -2.5 ถึง 2.5

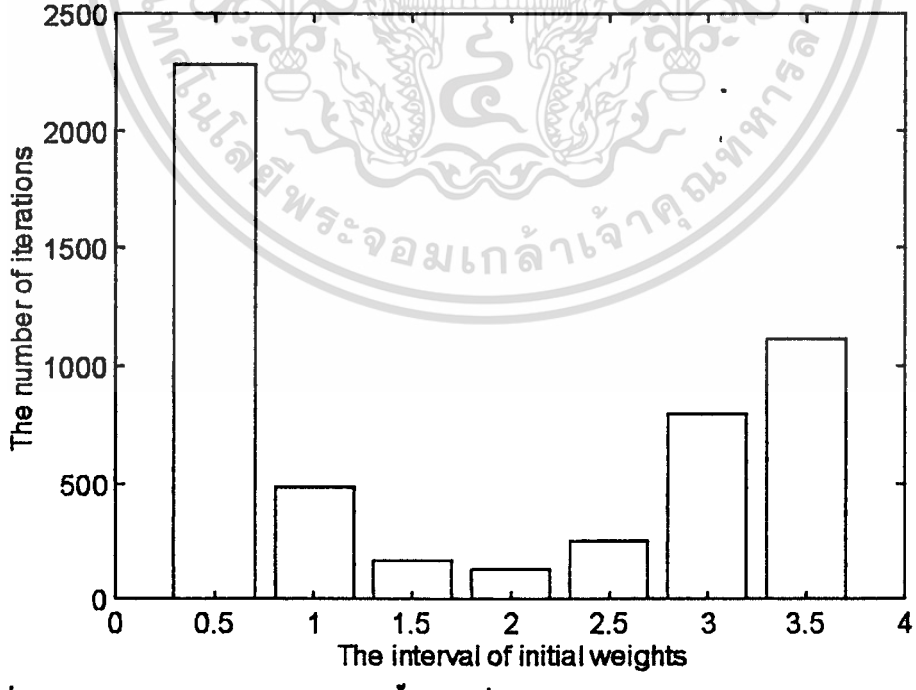


รูปที่ 7-24 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$,$\alpha = 0.2$ และค่าน้ำหนักเริ่มต้น -3.5 ถึง 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

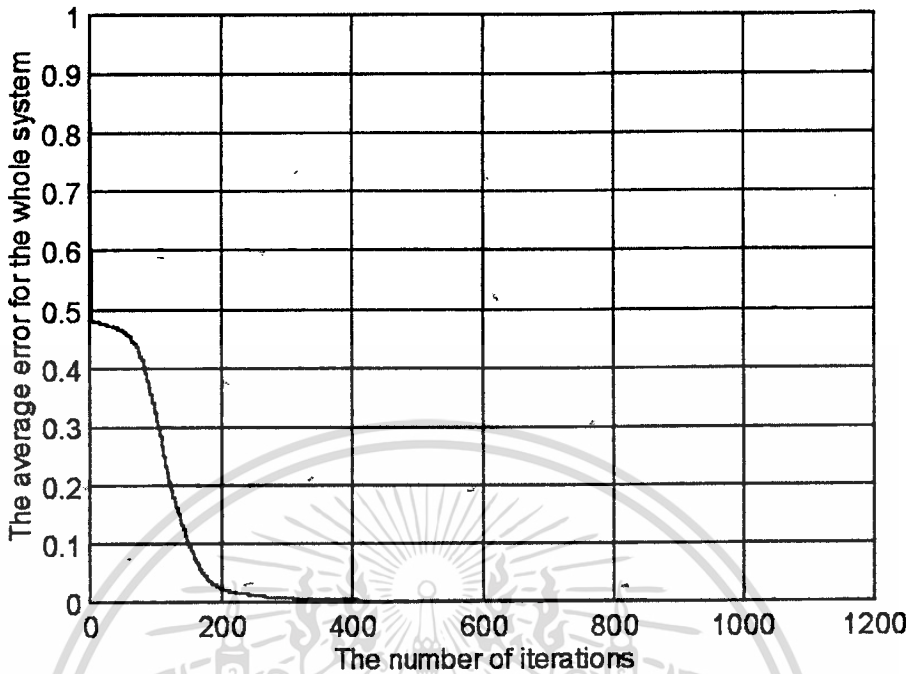


รูปที่ 7-25 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ A โดยมีค่า $\eta = 0.8$, $\alpha = 0.2$ และ ค่าน้ำหนักเริ่มต้น -0.5 ถึง 0.5 (:) , -1 ถึง 1 (*) -1.5 ถึง 1.5 (+) , -2 ถึง 2 (o) , -2.5 ถึง 2.5 (x) , -3 ถึง 3 (—) , -3.5 ถึง 3.5 (-.)

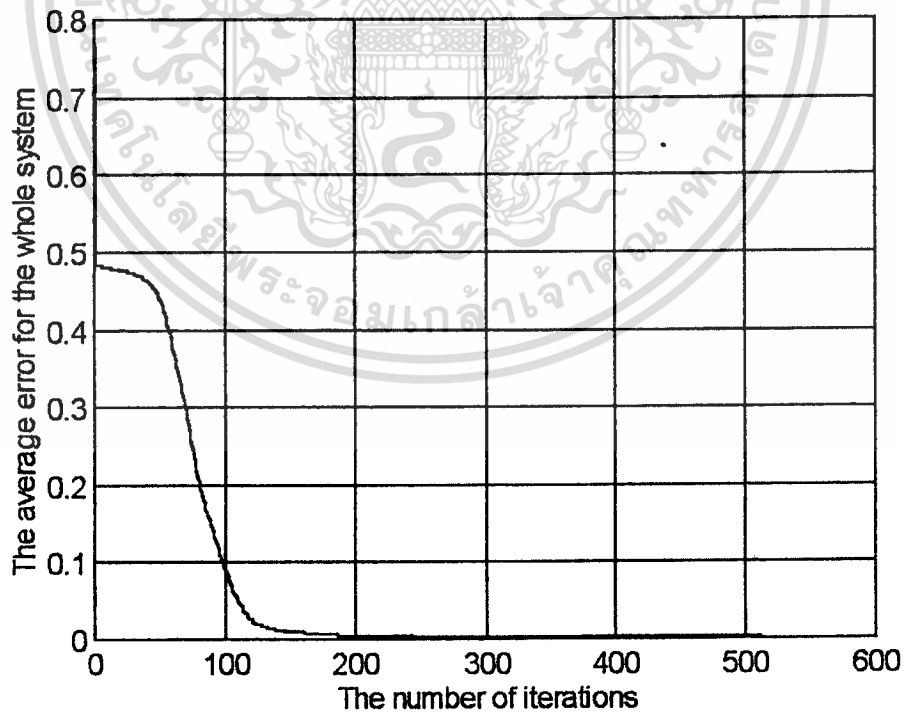


รูปที่ 7-26 แสดงความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักเริ่มต้นและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่าย แบบ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

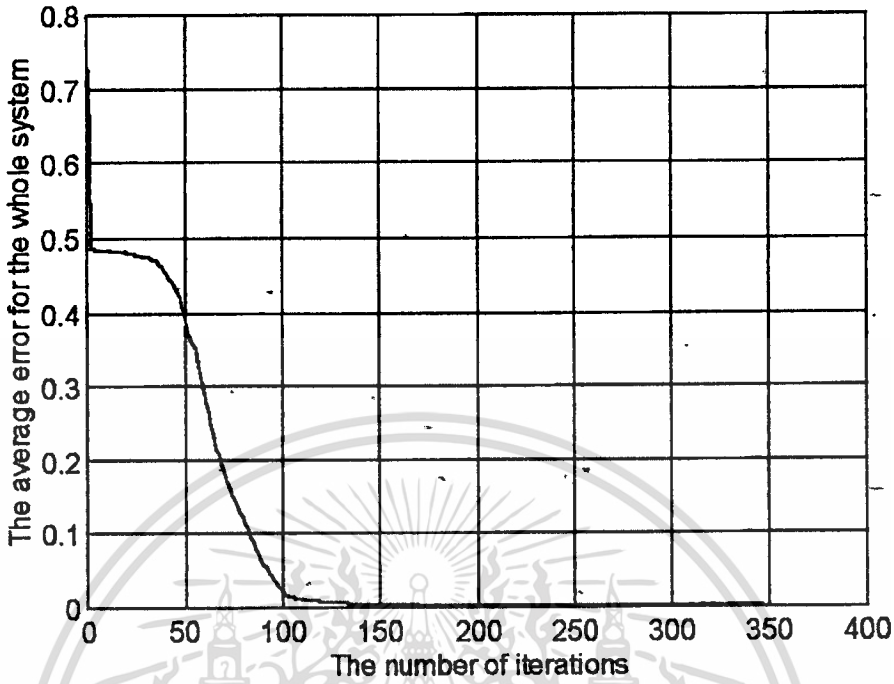


รูปที่ 7-27 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.2$ และ $\alpha = 0$

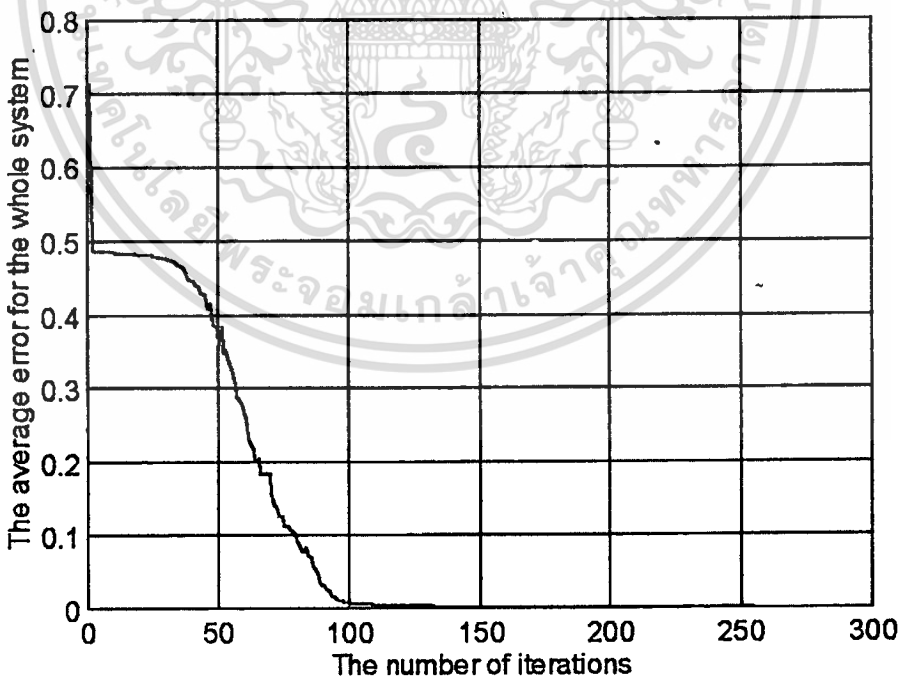


รูปที่ 7-28 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.4$ และ $\alpha = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

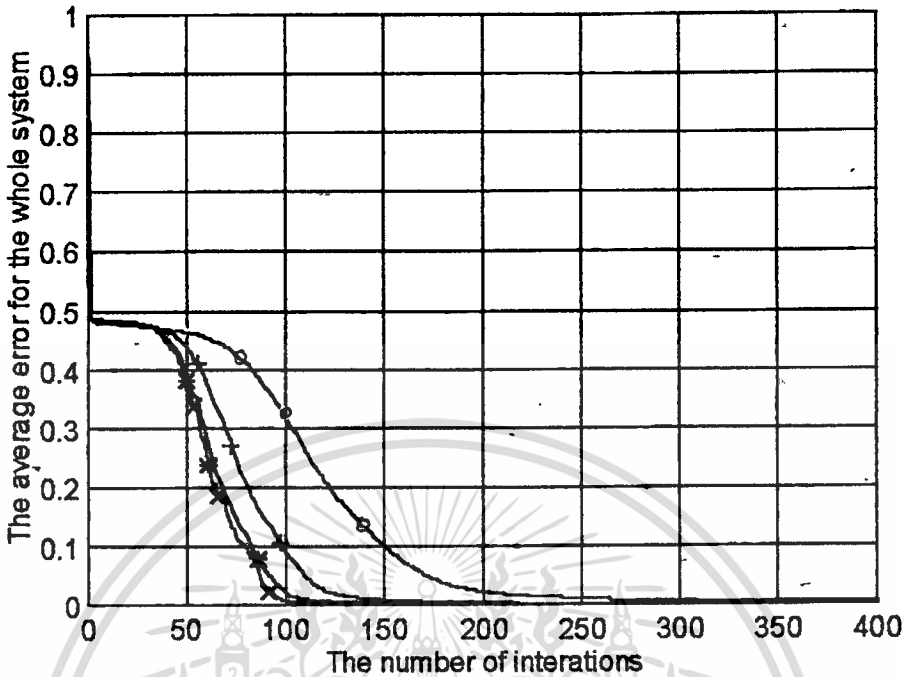


รูปที่ 2-29 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.6$ และ $\alpha = 0$



รูปที่ 7-30 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0$

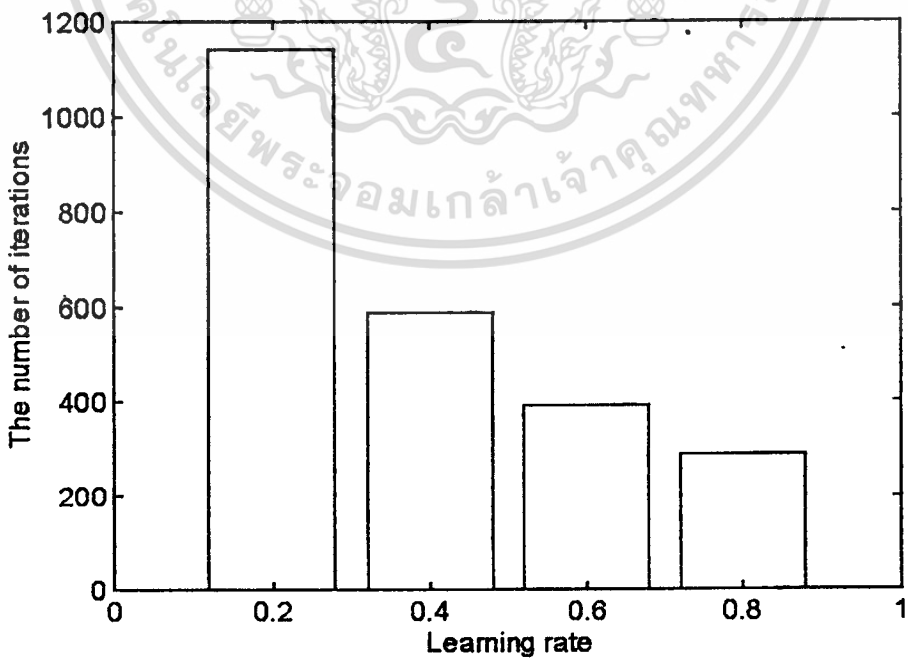
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-31 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่าย แบบ B

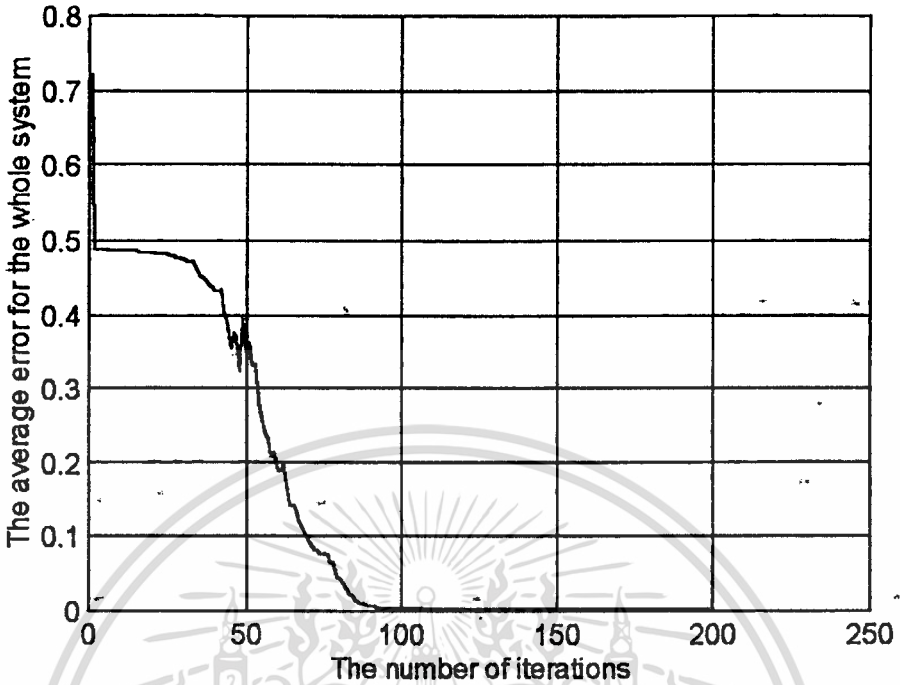
โดยมีค่า η = 0.8(x), 0.6(*), 0.4(+), 0.2(o) และ $\alpha = 0$

จากกราฟจะพบว่า การลู่เข้าสู่ความผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้ (0.001) จะเร็วมากขึ้นเมื่อค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้น้ำหนักเริ่มต้นทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากัน

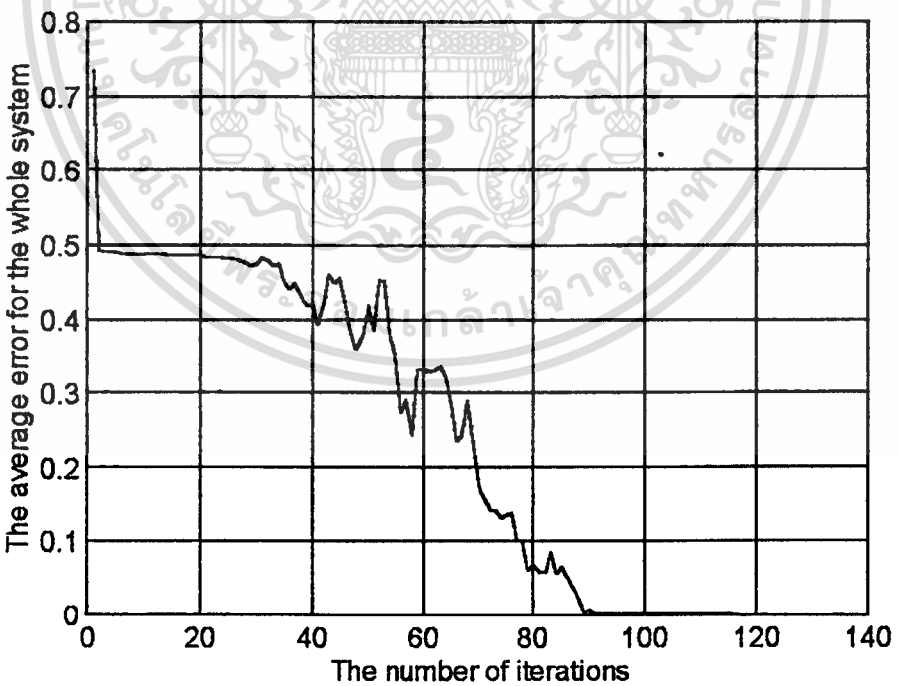


รูปที่ 7-32 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

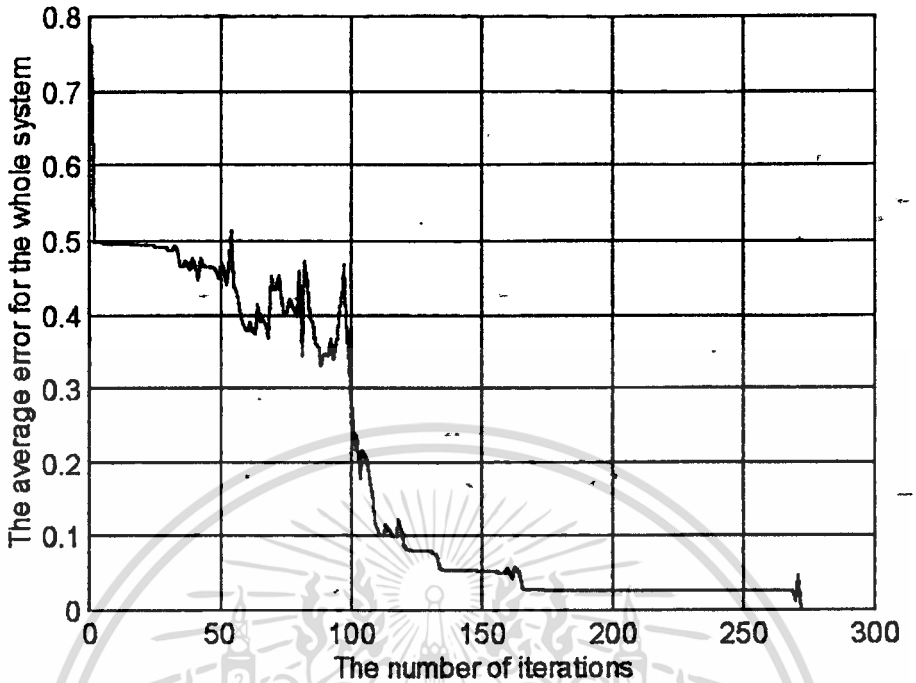


รูปที่ 7-33 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$

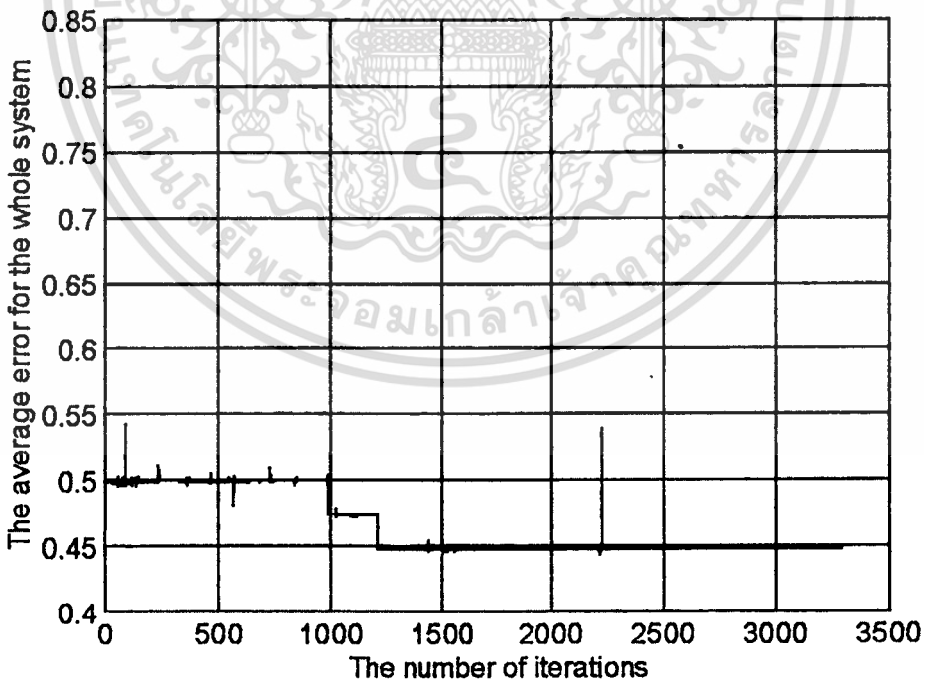


รูปที่ 7-34 แสดงความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

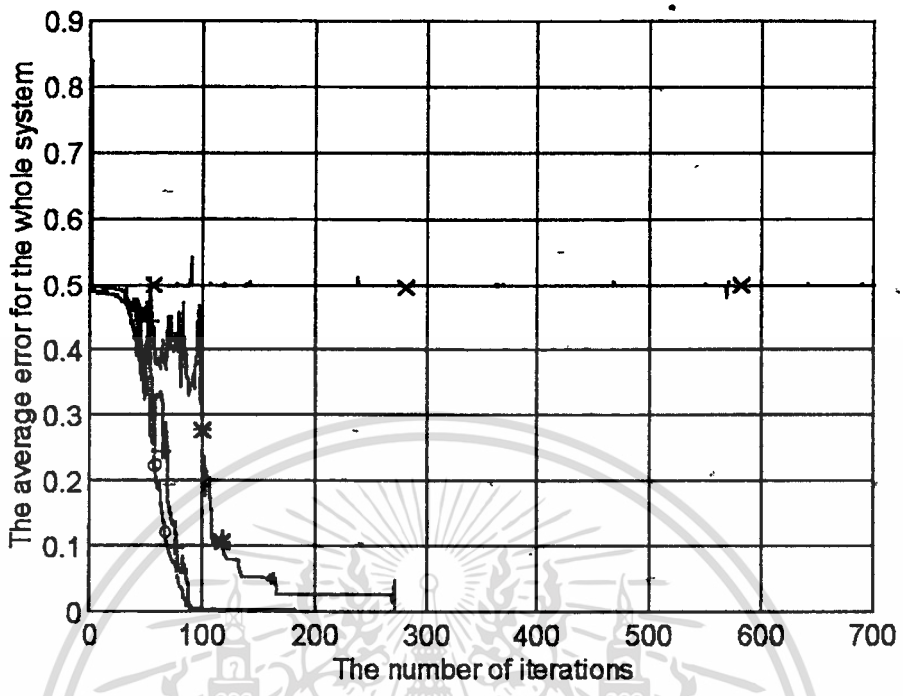


รูปที่ 7-35 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.6$



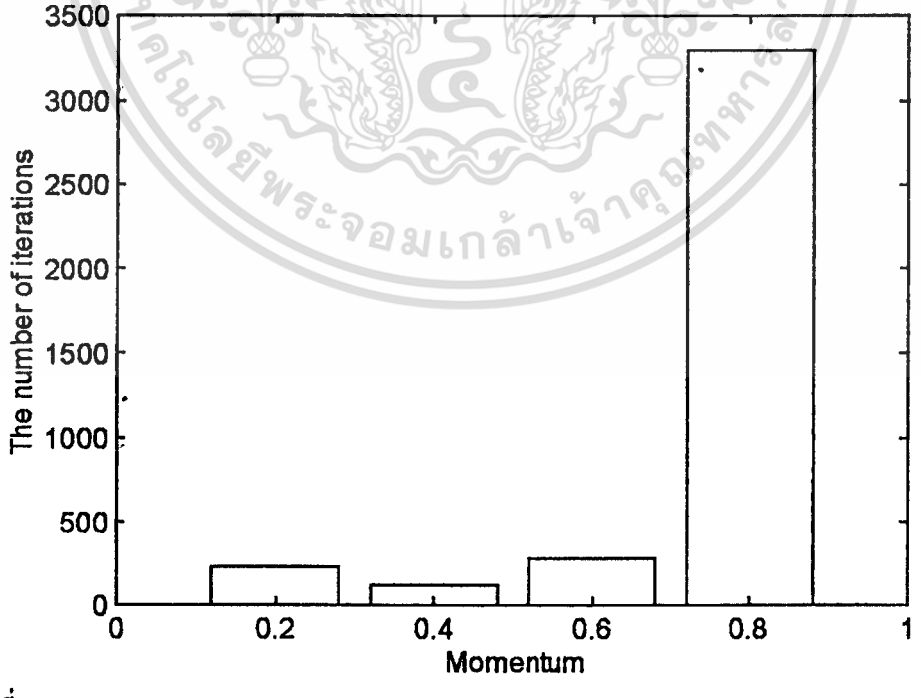
รูปที่ 7-36 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



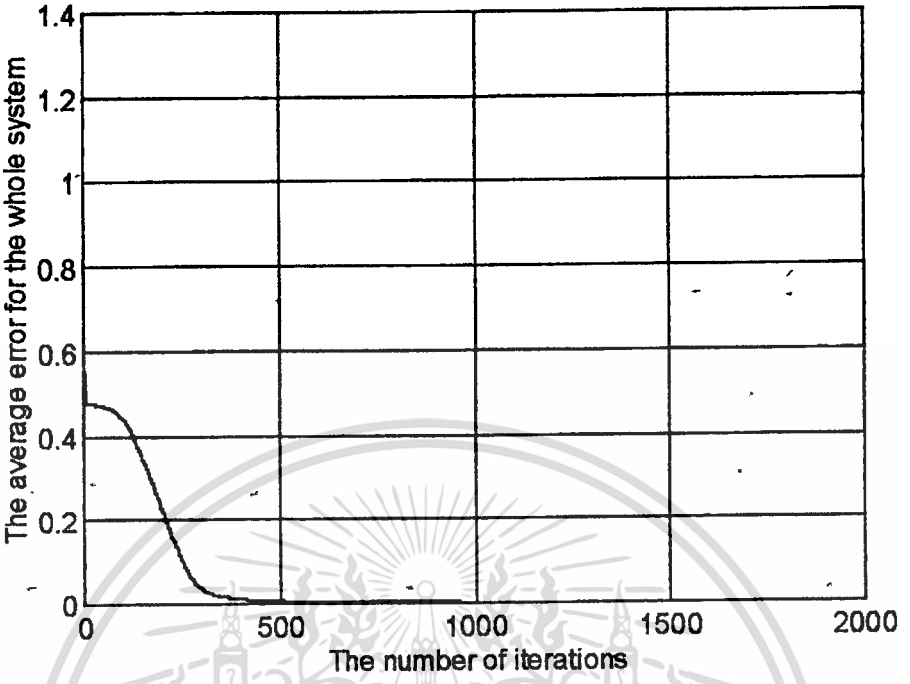
รูปที่ 7-37 แสดง ความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ B

โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$ (o),0.4 (+),0.6 (*),0.8 (x)

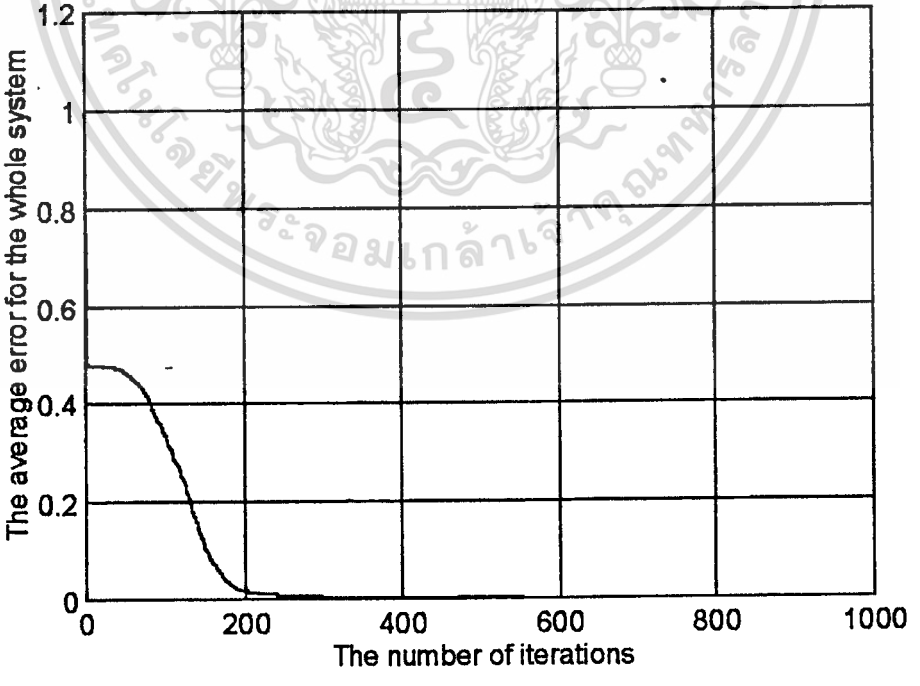


รูปที่ 7-38 แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

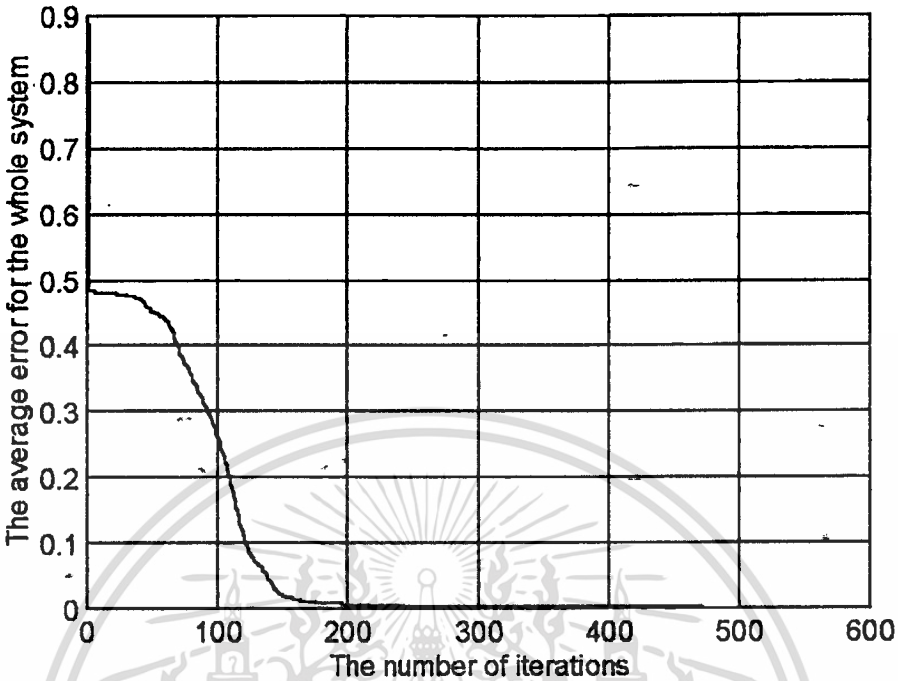


รูปที่ 7-39 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.2$ และ $\alpha = 0$

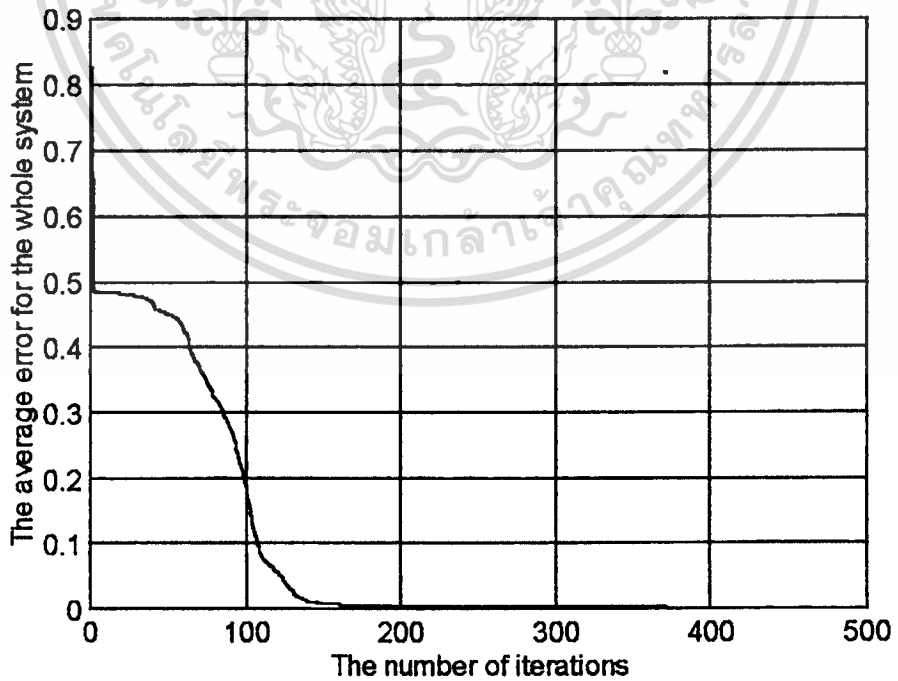


รูปที่ 7-40 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.4$ และ $\alpha = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

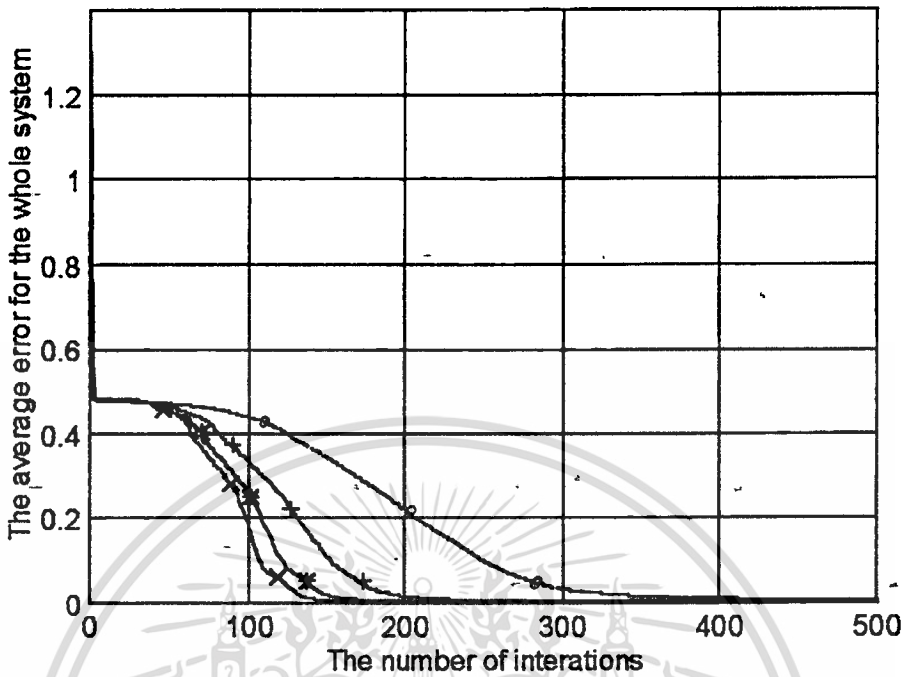


รูปที่ 7-41 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.6$ และ $\alpha = 0$



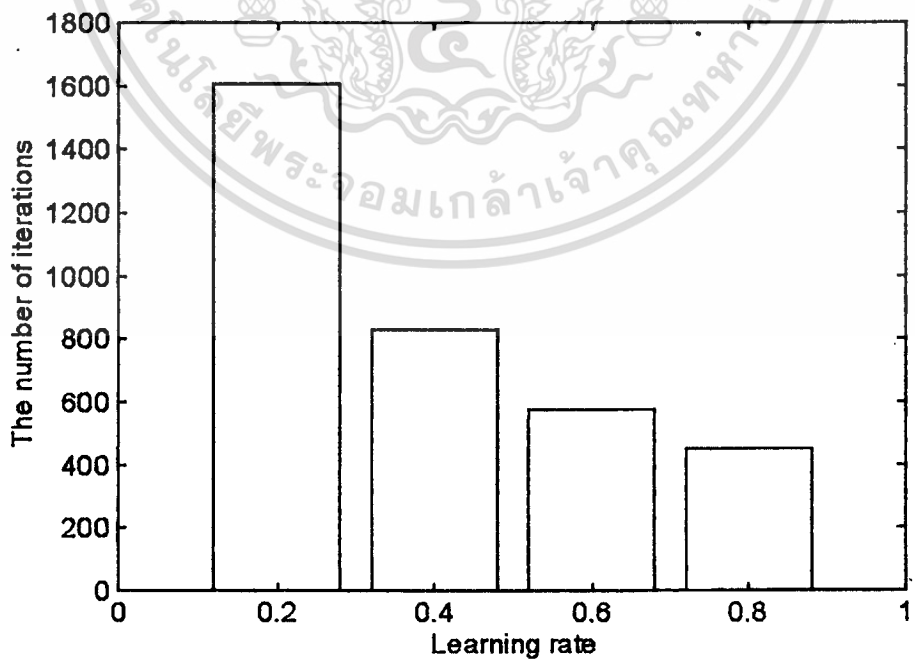
รูปที่ 7-42 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



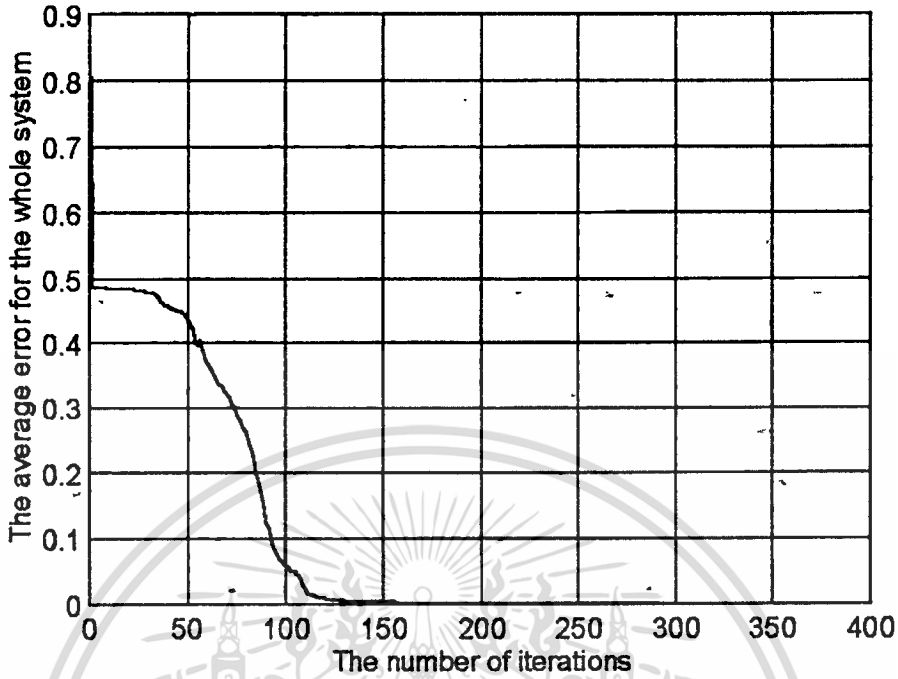
รูปที่ 7-43 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.8$ (x), 0.6 (*), 0.4 (+), 0.2 (o) และ $\alpha = 0$

จากกราฟจะพบว่า การลู่เข้าสู่ความผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้ (0.001) จะเร็วมากขึ้นเมื่อค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้น้ำหนักเริ่มต้นทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากัน

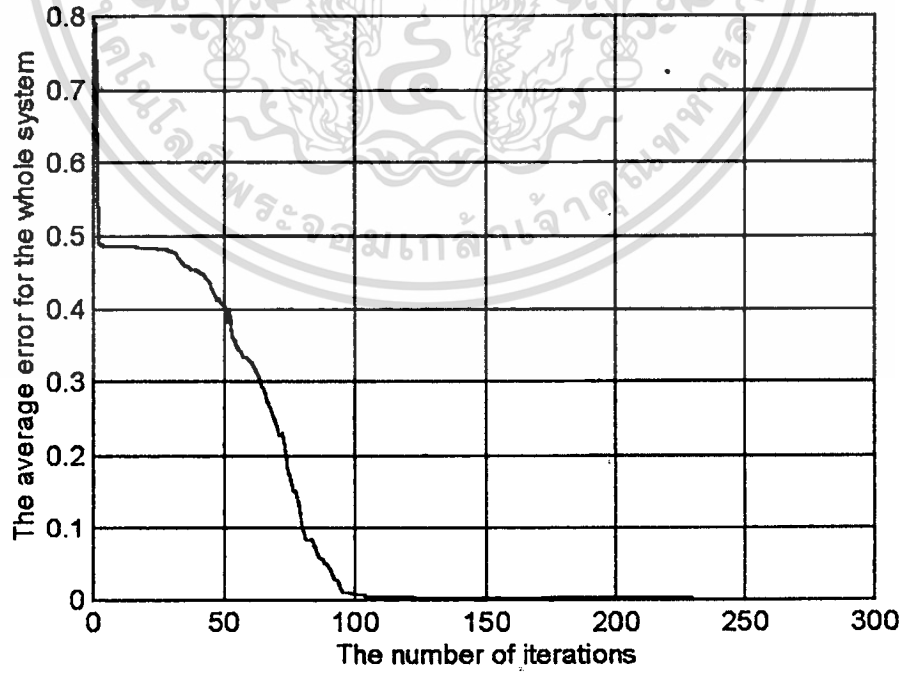


รูปที่ 7-44 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

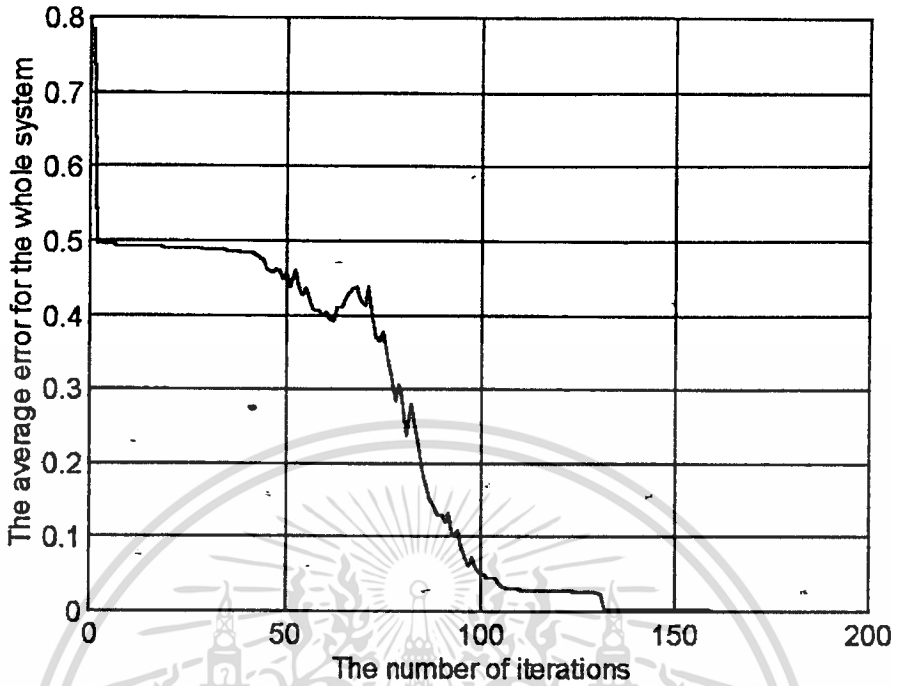


รูปที่ 7-45 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$

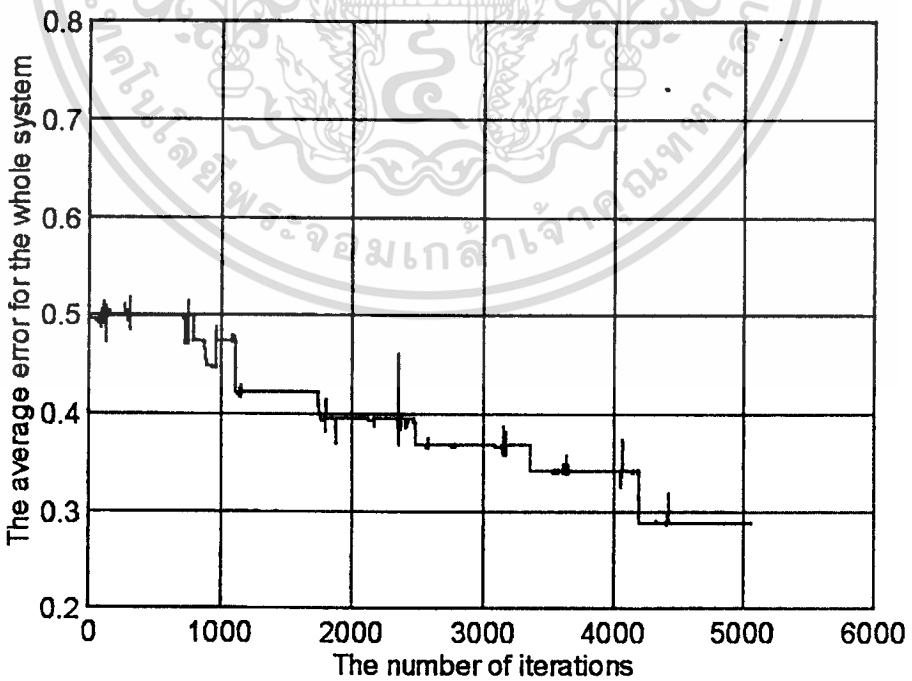


รูปที่ 7-46 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

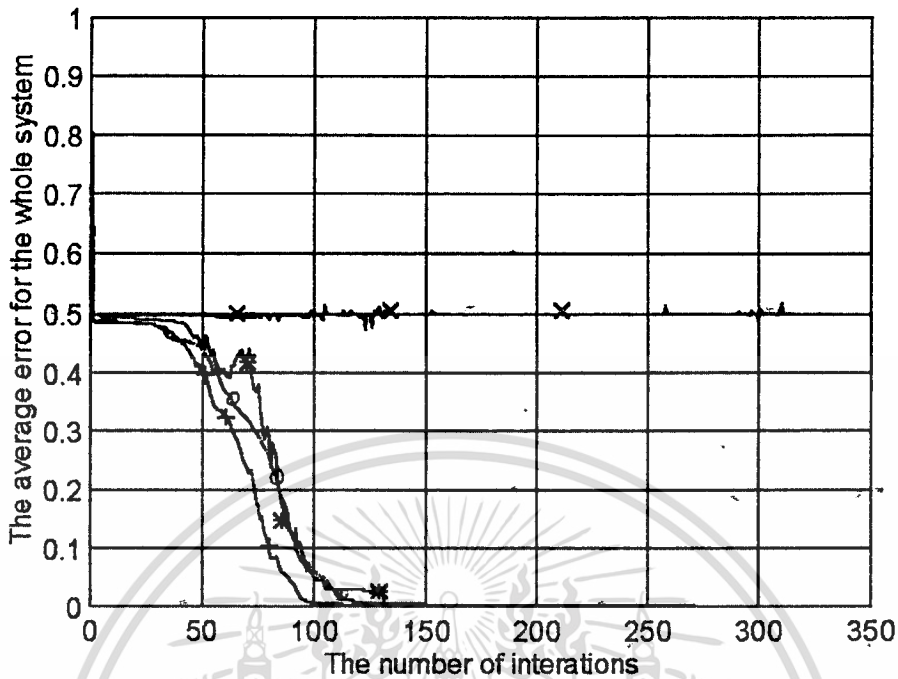


รูปที่ 7-47 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.6$

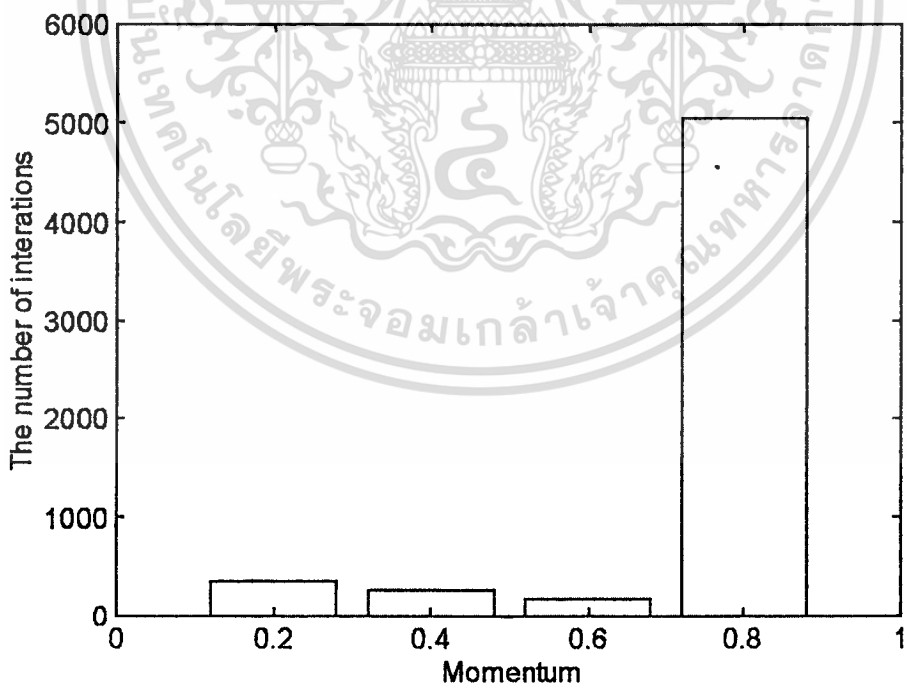


รูปที่ 7-48 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

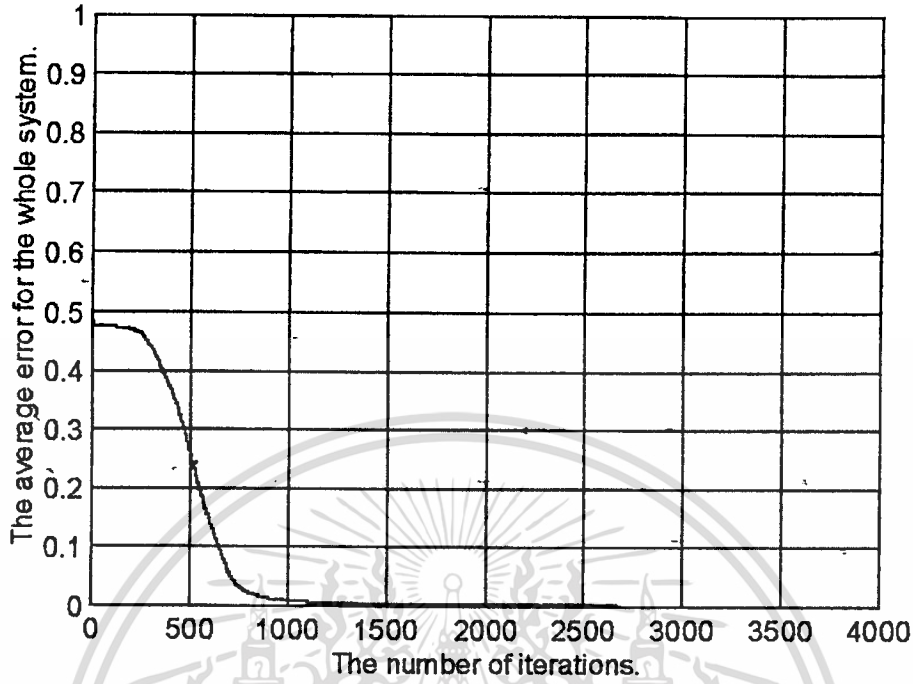


รูปที่ 7-49 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ C โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$ (o), 0.4 (+), 0.6 (*), 0.8 (x)

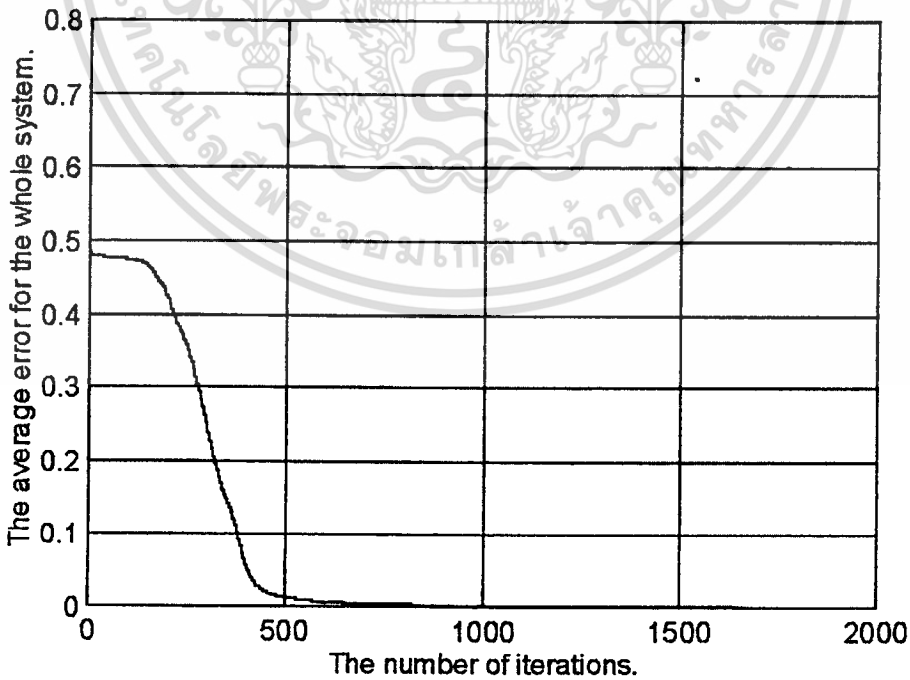


รูปที่ 7-50 แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

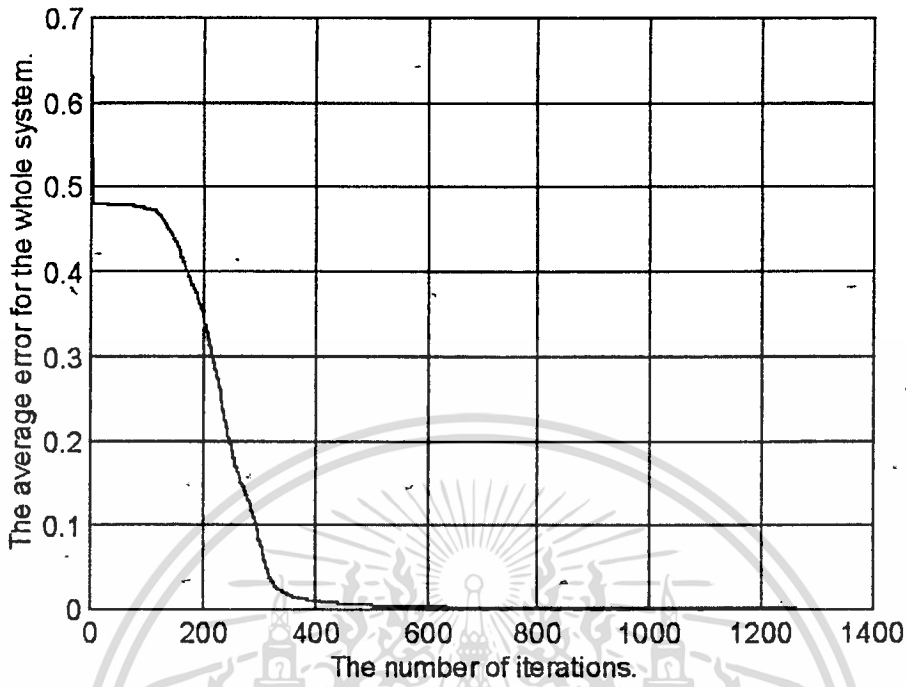


รูปที่ 7-51 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.2$ และ $\alpha = 0$

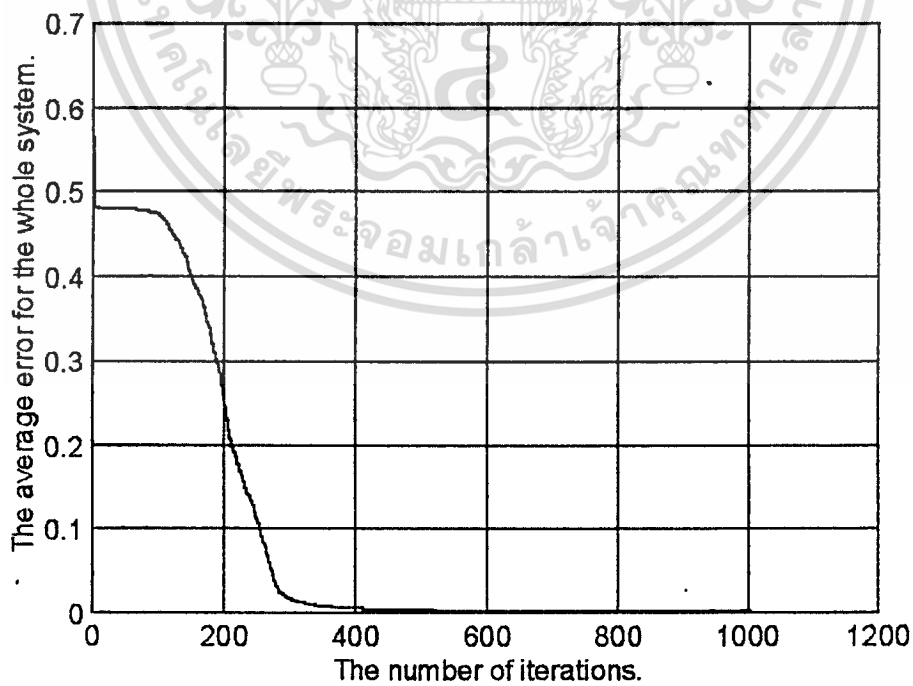


รูปที่ 7-52 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.4$ และ $\alpha = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

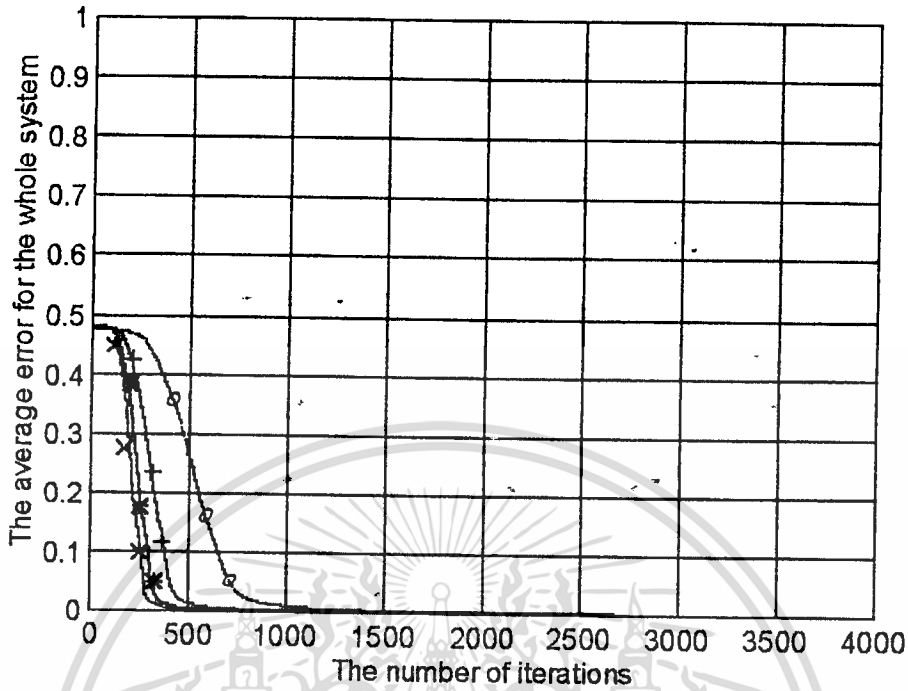


รูปที่ 7-53 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด0 ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.6$ และ $\alpha = 0$



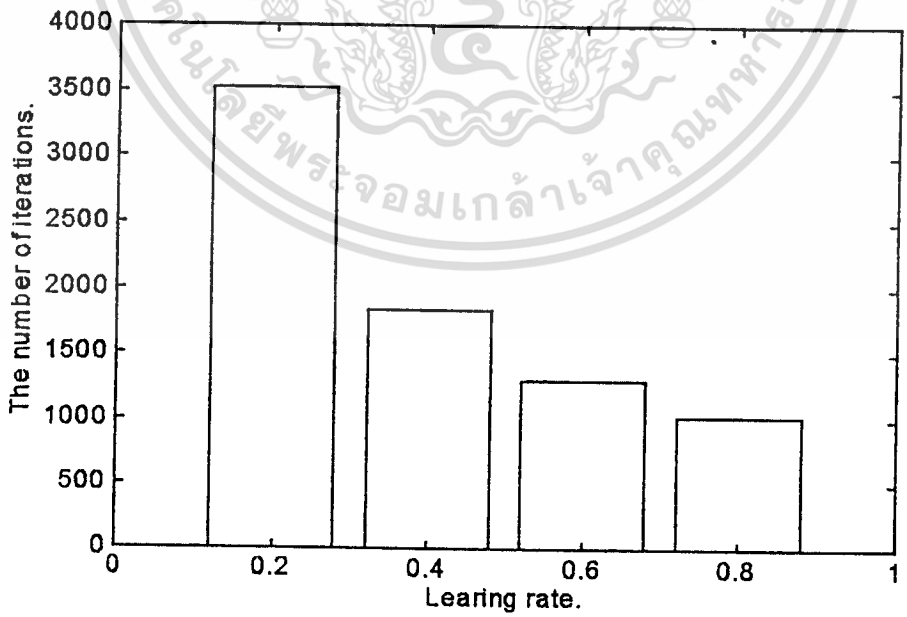
รูปที่ 7-54 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



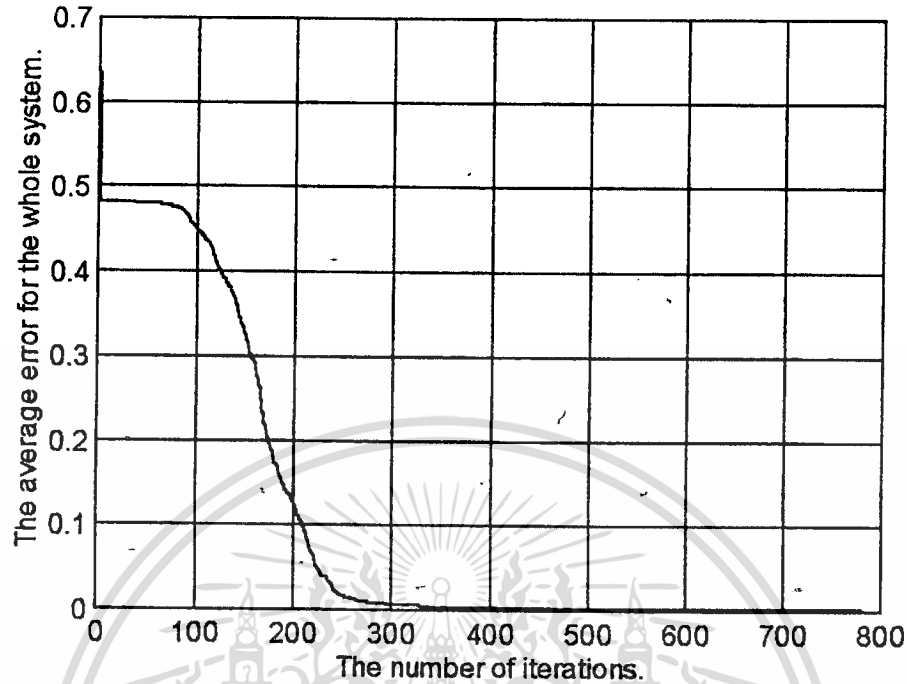
รูปที่ 7-55 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ (x), 0.6 (*), 0.4 (+), 0.2 (o) และ $\alpha = 0$

จากกราฟจะพบว่า การลู่เข้าสู่ความผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้ (0.001) จะเร็วมากขึ้นเมื่อค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดให้น้ำหนักเริ่มต้นทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากัน

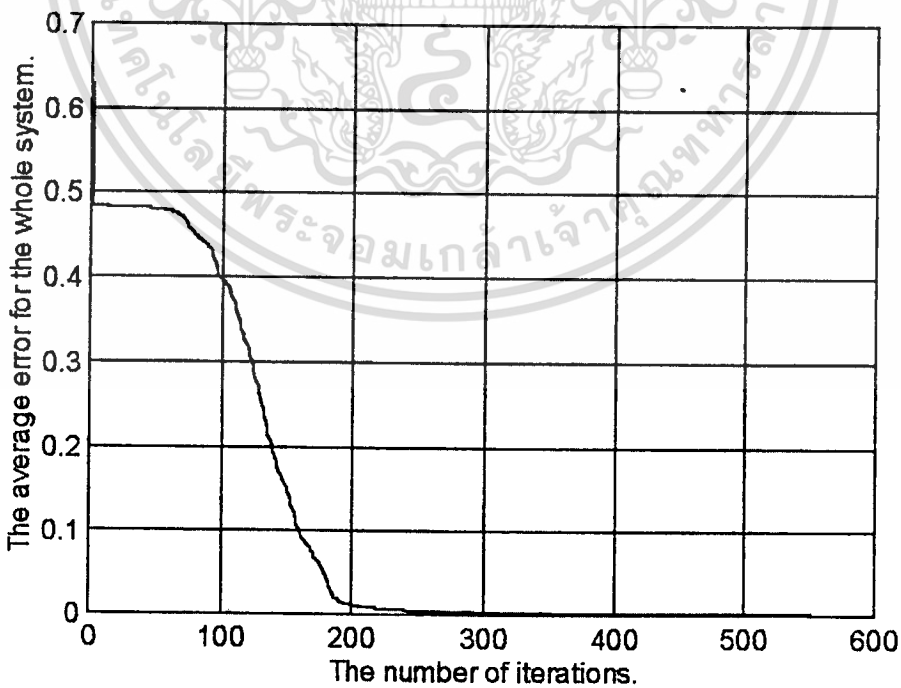


รูปที่ 7-56 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเรียนรู้และจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่าย D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

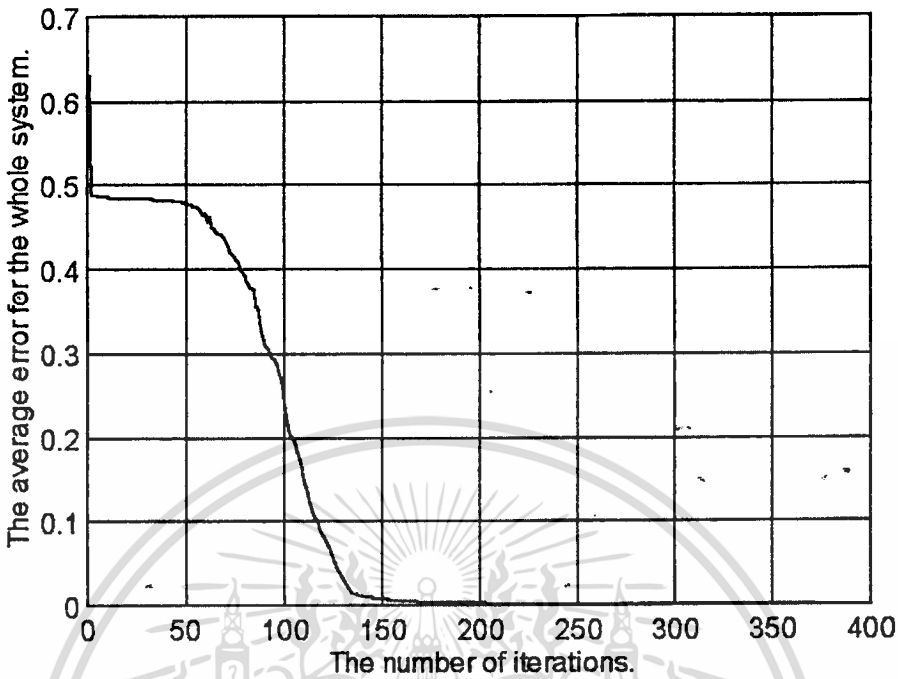


รูปที่ 7-57 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2$

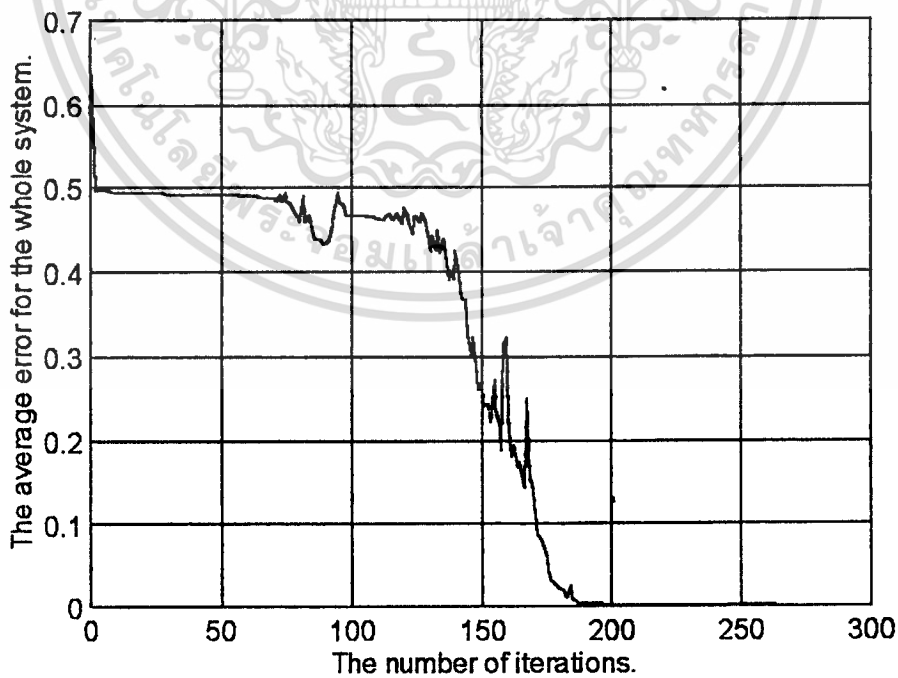


รูปที่ 7-58 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายขนาดแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

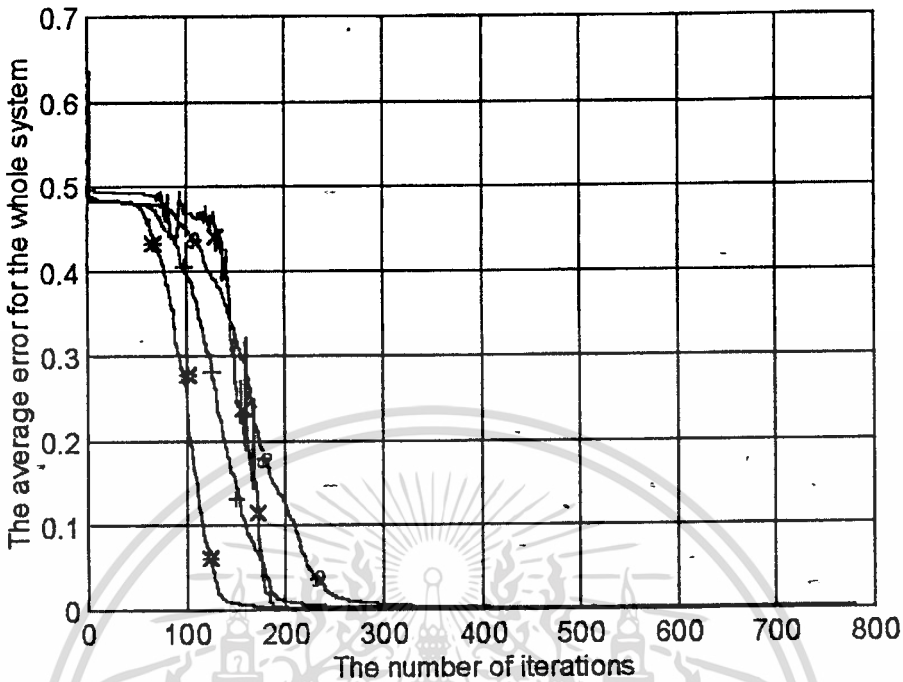


รูปที่ 7-59 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.6$

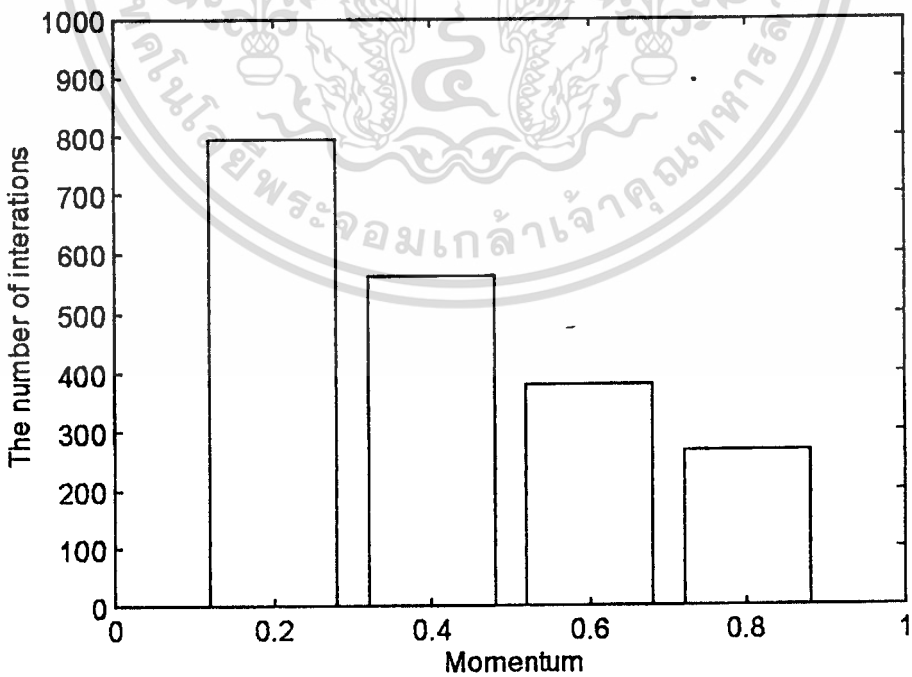


รูปที่ 7-60 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-61 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบ ในช่วงการฝึกหัด ของโครงข่ายแบบ D โดยมีค่า $\eta = 0.8$ และ $\alpha = 0.2\,(+),\ 0.4\,(o),\ 0.6\,(*),\ 0.8\,(x)$



รูปที่ 7-62 แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนตัมและจำนวนรอบของการลู่เข้าของโครงข่ายแบบ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ผลการตอบสนองของโครงข่ายต่อข้อมูลที่ไม่เคยเห็น

7.2.1 กรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังเพียงตำแหน่งเดียว

ในการทดสอบความสามารถของโครงข่ายในลักษณะนี้จะใช้ข้อมูลของสถานะของอุปกรณ์ป้องกันในกรณีที่มีการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกันในระบบ ในความผิดของระบบไฟฟ้ากำลังเพียงตำแหน่งเดียว (Single Fault) เท่านั้น โดยมีจำนวนของข้อมูลในลักษณะที่โครงข่ายไม่เคยเห็น (รูปแบบอินพุทที่ไม่ได้อยู่ในช่วงการเรียนรู้ของโครงข่าย) จำนวน 228 รูปแบบ ซึ่งจะพบว่าโครงข่ายให้ผลตอบสนองในการบอกตำแหน่งที่แม่นยำสูงมากโดยรวม.

7.2.1.1 กรณีที่มีการขาดหายไปของสถานะของอุปกรณ์ป้องกันเพียงตัวเดียว

จากการทดลองพบว่าโครงข่ายทั้งสี่แบบให้ผลตอบสนองที่ถูกต้องในทุกกรณี (ทั้งหมด 61 กรณี) และให้ค่าที่โหนดเอาท์พุทในการตัดสินใจที่สูงมาก (พิจารณาได้ในตารางที่ 7-1). และในบางกรณีที่โครงข่ายให้ค่าตอบสนองที่ค่าไม่สูงนัก แต่โครงข่ายก็ยังให้ค่าเอาท์พุทที่เด่นกว่าตัวอื่นมากๆ ยกเว้นในกรณีเดียวคือ กรณีที่ อินพุทของโครงข่ายเป็น LMR3 โครงข่ายแบบ A เป็นโครงข่ายแบบเดียวที่ให้ค่าตอบสนองเอาท์พุทเป็น Line 4 Fault (43.6 %) ต่างจากโครงข่ายทั้ง 3 แบบที่เหลือที่ให้ค่าตอบสนองเอาท์พุทเป็น Line 3 Fault ซึ่งตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ที่น่าจะเกิดขึ้นคือ Line 3 Fault ทั้งนี้เนื่องจากโครงข่ายทั้งสี่แบบมีลักษณะการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่แตกต่างกันนั่นเอง.

ในกรณีที่รูปแบบอินพุทหนึ่งมีจำนวนของสัญญาณบอกเหตุจากอุปกรณ์ป้องกันหลายตัว ทำให้โครงข่ายมีความสามารถในการตอบสนองต่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในระบบที่แม่นยำมาก ทั้งนี้เมื่อมีการขาดหายไปของสัญญาณบอกเหตุ จำนวนของสัญญาณที่เหลือจะเป็นตัวแทนของกลุ่มสัญญาณทั้งหมดได้เป็นอย่างดี.

ดังกรณีที่ 34 และ 53 ในตาราง 7-1 จะพบว่าโครงข่ายทั้งสี่แบบให้ผลตอบสนองว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่ Line 9 ได้อย่างถูกต้อง และยังมีค่าความแม่นยำที่สูงมาก เมื่อโครงข่ายได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ป้องกันเพียงสัญญาณเดียว (จากสัญญาณปกติที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่ายมีเพียง 2 สัญญาณ คือ LMR9 และ CB28) เนื่องจากโครงข่ายใช้ความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลที่เรียนรู้แล้วเป็นพื้นฐานในการตัดสินของโครงข่าย. สัญญาณที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดฟอลต์เพียงบางตำแหน่ง จะทำให้ เมื่อโครงข่ายได้รับสัญญาณนี้ โครงข่ายจะสร้างผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ได้อย่างแม่นยำมาก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.1.2 กรณีที่มีการขาดหายไปของสถานะของอุปกรณ์ป้องกันตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

โครงข่ายจะเริ่มให้ผลตอบสนองตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ที่ต่างกัน ทั้งนี้ในกรณีที่จำนวนตัวแทนของข้อมูลมีน้อย เช่น ตัวอย่างกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่ Busbar A (กรณีที่ 81) รีเลย์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะต้องทำงานในสภาวะปกติคือ CB1, CB2 และ BMRA แต่ถ้าเมื่อเราทดลองป้อนรูปแบบเข้าที่อินพุทโดยมีสัญญาณจากการทำงานของรีเลย์เพียงตัวเดียวคือ BMRA โครงข่าย B, C และ D จะให้ผลเอาท์พุทเป็น Busbar A Fault ซึ่งก็น่าจะเป็นค่าที่ถูกต้อง แต่โครงข่ายแบบ A จะให้ผลเอาท์พุทเป็น Line 4 Fault ซึ่งในโครงข่ายที่บอกถึงตำแหน่งการเกิดภาวะผิดปกติที่ถูกต้องจะให้ค่าความแม่นยำที่ไม่สูงนัก คือมีค่าอยู่ประมาณ 50 เปอร์เซนต์

เนื่องจากข้อกำหนดของโครงข่ายตอนแรกที่เรากำหนดให้ความสำคัญของสัญญาณอินพุททุกตัวมีความสำคัญเท่าๆ กันหมด ทำให้โครงข่ายพิจารณาข้อมูลอินพุทโดยไม่คำนึงถึงความน่าเป็นได้ของการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งนั้นๆ ถ้าอุปกรณ์ป้องกันตัวที่สำคัญบางตัวทำงานเช่น ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ของบัสบาร์เป็นต้น แต่โครงข่ายจะสร้างความสัมพันธ์ของสัญญาณทั้งหมดต่อตำแหน่งที่เกิดฟอล์ตขึ้นมาเอง ทั้งนี้พิจารณาได้จากกลุ่มของสัญญาณป้องกันหลักเมื่อเกิดฟอล์ตขึ้นที่ หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังตัวที่ 3 คือ TMR3, CB14 และ CB24. ถ้ามีการขาดหายไปของสัญญาณจากอุปกรณ์ป้องกัน 2 ตัว เช่น CB14 และ CB24 ในกรณีที่ 91 ตามตาราง จะพบว่าโครงข่ายแบบ A, B และ C ให้ผลตอบสนองที่ถูกต้อง และโครงข่ายแบบ A ให้ความแม่นยำสูงสุดคือ 91.9 เปอร์เซนต์ เช่นเดียวกับกรณีที่ 103 และ 113 ที่มีการขาดหายไปของสัญญาณ TMR3 , CB14 และ TMR3 , CB24 ตามลำดับ จะพบว่าโครงข่ายทั้งสี่แบบให้ผลตอบสนองที่ถูกต้อง ในกรณีที่ 103 และให้ผลตอบสนองที่แตกต่างกันในกรณีที่ 113 ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณจาก TMR3 มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดฟอล์ตขึ้นที่หม้อแปลงกำลังตัวที่ 3 เพียงตำแหน่งเดียว ดังนั้นโครงข่ายจึงให้ผลตอบสนองต่อตำแหน่งที่เกิดฟอล์ตมีความแม่นยำสูง เมื่อมีสัญญาณจาก TMR3 ถูกป้อนเข้าที่อินพุท

ผลตอบสนองของโครงข่ายที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งจะพบว่าจำนวนของสัญญาณที่มากในการแสดงตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในตำแหน่งใดๆ จะทำให้โครงข่ายสร้างผลตอบสนองในตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังที่แม่นยำขึ้น ในกรณีถ้ามีการขาดหายของข้อมูลอินพุท เป็นเพราะจำนวนข้อมูลที่มากนั้นจะเป็นตัวแทนของการเกิดความผิดปกติได้เป็นอย่างดี เช่นในกรณีที่ 172 เกิดความผิดปกติขึ้นที่ บัสบาร์ E แต่อุปกรณ์ป้องกันทำงานผิดพลาดถึง 3 ตัว คือ CB20 , CB21 และ CB23 โดยมีสัญญาณที่ถูกป้อนเข้าโครงข่ายคือ CB22 , CB24 และ BMRE จะพบว่าโครงข่ายทั้งสี่แบบให้ผลตอบสนองที่ถูกต้อง โดยโครงข่ายแบบ A ให้ผลตอบสนองที่มากที่สุดคือ 99.71 เปอร์-เซนต์. โดยกรณีของการเกิดฟอล์ตทั้งหมดอย่างละเอียดจะแสดงได้ในตารางที่ 7-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7-1 แสดงผลการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง กรณีที่เกิดตำแหน่งเดียว (Single Fault) จากโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสี่แบบ

สัญญาณที่ป้อนเข้าโครงข่าย (จากสถานะอุปกรณ์ป้องกันในระบบ)	การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ (Fault) ในระบบไฟฟ้ากำลัง			
	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จาก โครงข่ายประสาทเทียม A	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จาก โครงข่ายประสาทเทียม B	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จาก โครงข่ายประสาทเทียม C	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จาก โครงข่ายประสาทเทียม D
1. CB1 , CB2 , BMRA	**Busbar A Fault** 94.22%	**Busbar A Fault** 99.45%	**Busbar A Fault** 98.15%	**Busbar A Fault** 97.94%
	Transformer 4 Fault 2.3819%	Line 2 Fault 1.123%	Busbar B Fault 1.495%	Busbar D Fault 1.237%
	Line 1 Fault 0.1238%	Busbar D Fault 0.9249%	Line 8 Fault 1.176%	Line 1 Fault 0.8499%
2. CB5 , CB6 , BMRB	**Busbar B Fault** 99.61%	**Busbar B Fault** 99.67%	**Busbar B Fault** 98.27%	**Busbar B Fault** 98.11%
	Busbar A Fault 1.785%	Transformer 4 Fault 1.297%	Busbar A Fault 1.465%	Transformer 2 Fault 1.32%
	Transformer 4 Fault 0.3422%	Busbar C Fault 0.5017%	Line 2 Fault 1.244%	Busbar D Fault 0.8477%
3. CB13 , CB14 , CB15 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault** 99.99%	**Busbar C Fault** 98.78%	**Busbar C Fault** 98.51%	**Busbar C Fault** 97.62%
	Transformer 1 Fault0.0613%	Line 3 Fault 1.124%	Busbar B Fault 1.352%	Line 1 Fault 1.456%
	Busbar A Fault 0.0565%	Busbar B Fault 0.5045%	Line 3 Fault 0.5137%	Line 9 Fault 1.439%
4. CB16 , CB17 , CB19 , BMRD,	**Busbar D Fault** 99.86%	**Busbar D Fault** 99.53%	**Busbar D Fault** 98.38%	**Busbar D Fault** 97.92%
	Busbar B Fault 0.0745%	Transformer 4 Fault 1.972%	Transformer 4 Fault 1.585%	Busbar A Fault 1.046%
	Line 5 Fault 0.0338%	Busbar C Fault 1.349%	Busbar C Fault 1.02%	Busbar F Fault 0.9738%
5. CB20 , CB21 , CB22 , CB23 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault** 99.91%	**Busbar E Fault** 99.33%	**Busbar E Fault** 98.87%	**Busbar E Fault** 97.72%
	Line 4 Fault 0.0702%	Line 6 Fault 1.267%	Transformer 2 Fault 1.045%	Transformer 3 Fault 1.072%
	Busbar F Fault 0.0613%	Busbar F Fault 0.2744%	Line 5 Fault 0.9653%	Line 1 Fault 0.873%
6. CB20 , CB25 , CB26 , CB27 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault** 99.9%	**Busbar F Fault** 99.31%	**Busbar F Fault** 98.92%	**Busbar F Fault** 98.18%
	Busbar E Fault 0.1365%	Transformer 4 Fault 0.5153%	Line 8 Fault 0.9207%	Line 3 Fault 0.9773%
	Transformer 4 Fault 0.0716%	Busbar E Fault 0.5008%	Transformer 4 Fault 0.8989%	Line 8 Fault 0.9279%
7. CB1 , CB9 , LMR1	**Line 1 Fault** 99.46%	**Line 1 Fault** 99.3%	**Line 1 Fault** 95.91%	**Line 1 Fault** 97.6%
	Busbar A Fault 0.7959%	Busbar A Fault 1.188%	Line 8 Fault 1.532%	Busbar C Fault 1.189%
	Busbar F Fault 0.1429%	Busbar E Fault 0.7076%	Busbar F Fault 0.5575%	Busbar E Fault 1.072%

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. CB2 , CB10 , LMR2	**Line 2 Fault 99.92%** Busbar A Fault 3.824% Line 3 Fault 0.06564%	**Line 2 Fault 99.26%** Busbar A Fault 2.175% Busbar F Fault 0.8403%	**Line 2 Fault 96.51%** Transformer 2 Fault 0.7598% Line 5 Fault 0.6441%	**Line 2 Fault 97.97%** Busbar B Fault 1.00% Line 8 Fault 0.9646%
9. CB15 , LMR3	**Line 3 Fault 99.32%** Busbar A Fault 1.963% Line 5 Fault 0.22%	**Line 3 Fault 99.77%** Line 8 Fault 1.326% Transformer 4 Fault 0.9593%	**Line 3 Fault 98.19%** Transformer 4 Fault 1.246% Busbar B Fault 1.007%	**Line 3 Fault 97.73%** Transformer 4 Fault 1.067% Busbar F Fault 0.8769%
10. CB21 , LMR4	**Line 4 Fault 99.83%** Busbar B Fault 0.6136% Transformer 3 Fault 0.1151%	**Line 4 Fault 99.35%** Line 3 Fault 1.483% Transformer 1 Fault 1.208%	**Line 4 Fault 98.23%** Transformer 2 Fault 0.9981% Line 2 Fault 0.7522%	**Line 4 Fault 97.96%** Line 2 Fault 1.183% Line 6 Fault 1.179%
11. CB22 . LMR5	**Line 5 Fault 99.88%** Busbar B Fault 0.2623% Busbar D Fault 0.2417%	**Line 5 Fault 98.37%** Busbar B Fault 0.7933% Line 4 Fault 0.4752%	**Line 5 Fault 98.32%** Line 2 Fault 1.9% Transformer 3 Fault 1.257%	**Line 5 Fault 97.85%** Line 6 Fault 1.384% Line 9 Fault 1.32%
12. CB23 , LMR6	**Line 6 Fault 99.64%** Busbar A Fault 0.9028% Busbar B Fault 0.1726%	**Line 6 Fault 99.83%** Line 4 Fault 1.11% Busbar B Fault 0.5887%	**Line 6 Fault 97.93%** Line 8 Fault 1.138% Line 5 Fault 1.035%	**Line 6 Fault 97.74%** Busbar B Fault 1.243% Line 5 Fault 0.884%
13. CB25 , LMR7	**Line 7 Fault 99.67%** Busbar F Fault 0.2185% Transformer 4 Fault 0.1165%	**Line 7 Fault 99.44%** Line 9 Fault 2.416% Line 6 Fault 0.4437%	**Line 7 Fault 98.05%** Line 8 Fault 0.8342% Line 5 Fault 0.5671%	**Line 7 Fault 97.89%** Transformer 2 Fault 1.207% Transformer 1 Fault 1.201%
14. CB26 , LMR8	**Line 8 Fault 99.8%** Busbar A Fault 0.736% Busbar D Fault 0.1733%	**Line 8 Fault 99.39%** Line 9 Fault 0.9809% Line 6 Fault 0.7352%	**Line 8 Fault 98.16%** Line 7 Fault 3.515% Line 6 Fault 2.985%	**Line 8 Fault 97.62%** Transformer 2 Fault 1.358% Busbar B Fault 1.349%
15. CB28 , LMR9	**Line 9 Fault 99.72%** Busbar A Fault 0.607% Transformer 4 Fault 0.0945%	**Line 9 Fault 99.71%** Busbar B Fault 4.199% Line 7 Fault 1.439%	**Line 9 Fault 98.26%** Line 8 Fault 3.69% Line 5 Fault 1.714%	**Line 9 Fault 97.61%** Line 5 Fault 1.568% Transformer 3 Fault 1.405%

16. CB5 , CB9 , CB13 , TMR1	**Transformer 1 Fault 99.86%** Line 4 Fault 0.2724% Transformer 2 Fault 0.0617%	**Transformer 1 Fault 99.59%** Busbar B Fault 0.6925% Busbar C Fault 0.5208%	**Transformer 1 Fault 98.36%** Line 9 Fault 1.382% Busbar C Fault 0.6736%	**Transformer 1 Fault 98.18%** Transformer 4 Fault 0.8577% Line 7 Fault 0.8484%
17. CB6 , CB10 , CB16 , TMR2	**Transformer 2 Fault 99.89%** Busbar F Fault 0.1179% Busbar B Fault 0.09976%	**Transformer 2 Fault 99.31%** Transformer 4 Fault 0.8206% Busbar B Fault 0.6417%	**Transformer 2 Fault 98.65%** Line 4 Fault 0.6678% Transformer 4 Fault 0.3436%	**Transformer 2 Fault 97.63%** Busbar B Fault 1.37% Line 7 Fault 1.129%
18. CB14 , CB24 , TMR3	**Transformer 3 Fault 99.91%** Line 4 Fault 0.1318% Line 9 Fault 0.01664%	**Transformer 3 Fault 98.36%** Transformer 1 Fault 1.838% Transformer 4 Fault 1.335%	**Transformer 3 Fault 97.28%** Line 5 Fault 0.7349% Transformer 2 Fault 0.5936%	**Transformer 3 Fault 97.76%** Line 4 Fault 1.004% Busbar E Fault 0.7004%
19. CB17 , CB27 , TMR4	**Transformer 4 Fault 99.72%** Busbar A Fault 0.2327% Line 4 Fault 0.1452%	**Transformer 4 Fault 98.11%** Transformer 3 Fault 4.735% Busbar B Fault 4.233&	**Transformer 4 Fault 98.01%** Line 3 Fault 0.6774% Line 4 Fault 0.6294%	**Transformer 4 Fault 97.77%** Line 3 Fault 1.161% Transformer 1 Fault 1.139%
20. CB2 , BMRA	**Busbar A Fault 80.53%** Transformer 4 Fault 0.6721% Line 2 Fault 0.1567%	**Busbar A Fault 97.9%** Busbar B Fault 14.12% Line 2 Fault 3.163%	**Busbar A Fault 77.39%** Line 7 Fault 1.64% Busbar B Fault 1.538%	**Busbar A Fault 92.28%** Busbar D Fault 14.91% Line 2 Fault 8.28%
21. CB6 , BMRB	**Busbar B Fault 90.89%** Line 4 Fault 3.981% Line 9 Fault 3.602%	**Busbar B Fault 98.91%** Transformer 2 Fault 1.502% Busbar C Fault 1.305%	**Busbar B Fault 89.9%** Line 2 Fault 1.137% Transformer 3 Fault 0.8801%	**Busbar B Fault 97.69%** Transformer 2 Fault 4.53% Line 6 Fault 3.497%
22. CB14 , CB15 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.97%** Busbar D Fault 0.1287% Busbar A Fault 0.1003%	**Busbar C Fault 98.49%** Line 3 Fault 1.277% Busbar B Fault 0.4458%	**Busbar C Fault 96.96%** Busbar B Fault 2.785% Transformer 4 Fault 0.7983%	**Busbar C Fault 85.67%** Line 9 Fault 39.77% Line 8 Fault 1.186%
23. CB17 , CB19 , BMRD,	**Busbar D Fault 99.75%** Busbar C Fault 0.2072% Line 5 Fault 0.1678%	**Busbar D Fault 99.34%** Transformer 4 Fault 2.445% Busbar C Fault 1.772%	**Busbar D Fault 96.25%** Transformer 4 Fault 3.343% Busbar C Fault 1.387%	**Busbar D Fault 91.22%** Transformer 4 Fault 4.617% Busbar A Fault 1.462%

24. CB21 . CB22 , CB23 ,CB24 , BMRB	**Busbar E Fault 99.9%**	**Busbar E Fault 95.41%**	**Busbar E Fault 97.69%**	**Busbar E Fault 96.52%**
	Line 4 Fault 0.1464%	Line 6 Fault 1.553%	Line 5 Fault 5.151%	Line 6 Fault 2.115%
	Line 5 Fault 0.01661%	Line 1 Fault 0.4496%	Transformer 2 Fault 0.9262%	Line 1 Fault 1.541%
25. CB25 , CB26 , CB27 , CB28, BMRF	**Busbar F Fault 99.85%**	**Busbar F Fault 96.42%**	**Busbar F Fault 95.94%**	**Busbar F Fault 97.58%**
	Transformer 4 Fault 0.1474%	Transformer 4 Fault 1.107%	Line 8 Fault 3.423%	Line 3 Fault 2.36%
	Line 7 Fault 0.1167%	Line 9 Fault 0.8861%	Transformer 1 Fault 0.9322%	Busbar D Fault 1.002%
26. CB9 , LMR1	**Line 1 Fault 88.05%**	**Line 1 Fault 97.3%**	**Line 1 Fault 89.49%**	**Line 1 Fault 48.88%**
	Busbar F Fault 0.249%	Transformer 1 Fault 1.745%	Line 8 Fault 3.332%	Line 7 Fault 9.282%
	Busbar A Fault 0.2273%	Busbar A Fault 0.2594%	Line 4 Fault 1.321%	Line 6 Fault 6.866%
27. CB10 , LMR2	**Line 2 Fault 98.81%**	**Line 2 Fault 79.35%**	**Line 2 Fault 95.58%**	**Line 2 Fault 84.79%**
	Busbar A Fault 1.215%	Transformer 2 Fault 4.768%	Transformer 2 Fault 4.068%	Line 5 Fault 8.503%
	Line 3 Fault 0.1061%	Line 3 Fault 1.665%	Line 6 Fault 0.7415%	Transformer 2 Fault 5.868%
28. LMR3	**Line 4 Fault 43.6%**	**Line 3 Fault 97.38%**	**Line 3 Fault 86.95%**	**Line 3 Fault 66.13%**
	Line 3 Fault 29.42%	Busbar A Fault 5.751%	Transformer 1 Fault 1.395%	Line 6 Fault 6.516%
	Busbar A Fault 2.163%	Transformer 4 Fault 3.309%	Line 1 Fault 1.285%	Busbar B Fault 4.705%
29. LMR4	**Line 4 Fault 99.34%**	**Line 4 Fault 93.2%**	**Line 4 Fault 57.88%**	**Line 4 Fault 91.62%**
	Line 3 Fault 0.5032%	Transformer 1 Fault 4.198%	Line 2 Fault 6.65%	Line 6 Fault 3.708%
	Busbar A Fault 0.2%	Line 3 Fault 1.684%	Busbar B Fault 0.8743%	Busbar B Fault 2.782%
30. LMR5	**Line 5 Fault 96.41%**	**Line 5 Fault 93.72%**	**Line 5 Fault 69.61%**	**Line 5 Fault 92.8%**
	Line 4 Fault 4.086%	Line 4 Fault 5.207%	Line 2 Fault 24.83%	Line 6 Fault 4.461%
	Line 3 Fault 1.024%	Transformer 1 Fault 2.193%	Line 7 Fault 0.7077%	Line 2 Fault 1.354%
31. LMR6	**Line 6 Fault 84.6%**	**Line 6 Fault 89.08%**	**Line 6 Fault 89.19%**	**Line 6 Fault 92.01%**
	Busbar A Fault 4.487%	Line 4 Fault 5.849%	Line 5 Fault 2.224%	Busbar B Fault 5.406%
	Line 4 Fault 1.814%	Line 9 Fault 1.959%	Line 2 Fault 1.709%	Line 3 Fault 2.62%

32. LMR7	**Line 7 Fault** 56.09% Line 3 Fault 0.5212% Busbar A Fault 0.4166%	**Line 7 Fault** 97.68% Line 9 Fault 2.937% Line 4 Fault 2.377%	**Line 7 Fault** 84.64% Line 2 Fault 1.331% Line 5 Fault 1.323%	**Line 7 Fault** 63.19% Line 6 Fault 9.717% Line 4 Fault 3.505%
33. LMR8	**Line 8 Fault** 90.4% Busbar A Fault 2.479% Line 3 Fault 0.3631%	**Line 8 Fault** 93.44% Transformer 1 Fault 1.152% Line 4 Fault 0.8052%	**Line 8 Fault** 73.62% Line 7 Fault 5.831% Busbar A Fault 1.305%	**Line 8 Fault** 56.87% Line 2 Fault 1.552% Busbar B Fault 1.289%
34. LMR9	**Line 9 Fault** 97.97% Line 4 Fault 2.597% Busbar A Fault 1.828%	**Line 9 Fault** 92.39% Transformer 1 Fault 5.208% Line 7 Fault 4.235%	**Line 9 Fault** 79.68% Line 5 Fault 2.163% Line 8 Fault 1.022%	**Line 9 Fault** 63.32% Line 6 Fault 17.54% Transformer 3 Fault 3.47%
35. CB9 , CB13 , TMR1	**Transformer 1 Fault** 99.56% Line 4 Fault 0.5965% Transformer 2 Fault 0.1803%	**Transformer 1 Fault** 98.75% Line 1 Fault 0.5355% Busbar C Fault 0.4573%	**Transformer 1 Fault** 94.53% Line 8 Fault 3.106% Line 9 Fault 1.5%	**Transformer 1 Fault** 93.64% Line 1 Fault 7.164% Line 7 Fault 3.626%
36. CB10 , CB16 , TMR2	**Transformer 2 Fault** 99.8% Busbar B Fault 0.2327% Busbar F Fault 0.08981%	**Transformer 2 Fault** 98.64% Transformer 4 Fault 1.315% Line 4 Fault 0.6678%	**Transformer 2 Fault** 94.08% Line 2 Fault 1.209% Line 4 Fault 1.124%	**Transformer 2 Fault** 95.33% Line 8 Fault 9.327% Line 7 Fault 2.486%
37. CB24 , TMR3	**Transformer 3 Fault** 99.5% Line 4 Fault 0.8453% Line 9 Fault 0.2278%	**Transformer 3 Fault** 98.2% Transformer 4 Fault 2.234% Busbar A Fault 1.506%	**Transformer 3 Fault** 93.3% Busbar A Fault 1.793% Line 1 Fault 1.13%	**Transformer 3 Fault** 92.15% Line 4 Fault 18.95% Line 2 Fault 2.977%
38. CB27 , TMR4	**Transformer 4 Fault** 98.4% Busbar F Fault 0.9059% Busbar A Fault 0.2871%	**Transformer 4 Fault** 86.47% Busbar B Fault 2.549% Transformer 3 Fault 1.347%	**Transformer 4 Fault** 62.58% Busbar B Fault 3.091% Line 4 Fault 2.844%	**Transformer 4 Fault** 91.53% Line 3 Fault 4.222% Line 1 Fault 1.503%
39. CB1 , BMRA	**Busbar A Fault** 36.76% Line 1 Fault 10.82% Transformer 4 Fault 4.697%	**Busbar A Fault** 91.95% Line 1 Fault 1.708% Busbar D Fault 1.291%	**Busbar A Fault** 94.9% Line 1 Fault 4.116% Line 8 Fault 1.336%	**Busbar A Fault** 93.58% Line 1 Fault 11.06% Busbar C Fault 5.757%

40. CB5, BMRB	**Busbar B Fault 94.6%** Busbar A Fault 9.527% Transformer 4 Fault 0.8363%	**Busbar B Fault 96.73%** Transformer 1 Fault 9.878% Busbar A Fault 5.275%	**Busbar B Fault 94.05%** Busbar A Fault 4.142% Transformer 1 Fault 2.883%	**Busbar B Fault 94.29%** Transformer 4 Fault 4.545% Line 4 Fault 3.051%
41. CB13 , CB15 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.98%** Line 3 Fault 0.1369% Busbar D Fault 0.08499%	**Busbar C Fault 98.09&** Line 3 Fault 3.362% Busbar B Fault 0.609%	**Busbar C Fault 97.73%** Transformer 1 Fault 1.226% Line 3 Fault 0.9527%	**Busbar C Fault 59.97%** Line 8 Fault 5.146% Busbar F Fault 1.254%
42. CB16, CB19 , BMRD	**Busbar D Fault 99.72%** Busbar E Fault 0.1512% Line 4 Fault 0.1192%	**Busbar D Fault 97.88%** Busbar C Fault 4.83% Transformer 1 Fault 0.6915%	**Busbar D Fault 97.74%** Busbar C Fault 0.5576% Line 6 Fault 0.4415%	**Busbar D Fault 93.31%** Transformer 2 Fault 3.857% Line 2 Fault 3.741%
43. CB20 , CB22 , CB23 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.84%** Busbar F Fault 0.1041% Line 4 Fault 0.0235%	**Busbar E Fault 99.33%** Line 6 Fault 0.8216% Line 1 Fault 0.4655%	**Busbar E Fault 98.36%** Line 5 Fault 1.67% Line 3 Fault 0.4478%	**Busbar E Fault 96.65%** Line 5 Fault 3.014% Line 8 Fault 1.849%
44. CB20 , CB26 , CB27 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 99.48%** Busbar E Fault 1.605% Transformer 4 Fault 0.0613%	**Busbar F Fault 98.99%** Busbar E Fault 1.607% Transformer 4 Fault 0.6821%	**Busbar F Fault 98.48%** Transformer 4 Fault 1.587% Busbar E Fault 1.478%	**Busbar F Fault 97.12%** Line 9 Fault 3.16% Busbar C Fault 1.323%
45. CB1 , LMR1	**Line 1 Fault 94.66%** Busbar A Fault 4.444% Transformer 4 Fault 0.3086%	**Line 1 Fault 96.3%** Busbar A Fault 5.073% Busbar E Fault 0.5956%	**Line 1 Fault 92.02%** Busbar A Fault 1.619% Line 8 Fault 0.7389%	**Line 1 Fault 93.08%** Busbar C Fault 10.9% Busbar E Fault 5.613%
46. CB2 , LMR2	**Line 2 Fault 99.25%** Busbar A Fault 10.08% Line 3 Fault 0.3649%	**Line 2 Fault 88.13%** Busbar A Fault 70.67% Busbar D Fault 4.299%	**Line 2 Fault 88.94%** Line 5 Fault 2.477% Line 7 Fault 2.219%	**Line 2 Fault 92.58%** Transformer 3 Fault 10.34% Line 4 Fault 8.239%
47. CB15	**Line 3 Fault 76.12%** Busbar A Fault 1.745% Line 4 Fault 0.6015%	**Line 3 Fault 86.57%** Busbar C Fault 10.43% Line 4 Fault 8.423%	**Line 3 Fault 77.49%** Busbar B Fault 3.925% Busbar C Fault 2.707%	**Line 3 Fault 86.53%** Line 8 Fault 1.467% Line 6 Fault 1.39%

48. CB21	**Line 4 Fault 94.46%** Busbar B Fault 8.398% Transformer 4 Fault 0.3468%	**Line 4 Fault 74.8%** Transformer 1 Fault 1.401% Busbar B Fault 0.8038%	**Line 4 Fault 70.61%** Line 1 Fault 0.6563% Transformer 2 Fault 0.5684%	**Line 4 Fault 91.18%** Line 6 Fault 2.39% Line 1 Fault 1.656%
49. CB22	**Line 5 Fault 94.28%** Busbar B Fault 6.243% Line 4 Fault 2.883%	**Line 5 Fault 83.75%** Transformer 1 Fault 1.612% Busbar B Fault 1.365%	**Line 5 Fault 83.98%** Line 6 Fault 0.6525% Line 3 Fault 0.512%	**Line 5 Fault 90%** Line 6 Fault 1.425% Line 8 Fault 1.234%
50. CB23	**Line 6 Fault 76.17%** Line 4 Fault 3.925% Busbar B Fault 1.99%	**Line 6 Fault 95.95%** Line 4 Fault 1.029% Busbar B Fault 0.6258%	**Line 6 Fault 90.57%** Line 8 Fault 2.956% Line 5 Fault 1.968%	**Line 6 Fault 93.34%** Busbar B Fault 2.161% Line 7 Fault 1.103%
51. CB25	**Line 7 Fault 71.88%** Busbar F Fault 2.257% Transformer 4 Fault 0.5878%	**Line 7 Fault 83.56%** Line 9 Fault 3.458% Line 8 Fault 1.988%	**Line 7 Fault 81.1%** Line 8 Fault 4.556% Busbar A Fault 1.123%	**Line 7 Fault 87.06%** Transformer 2 Fault 1.506% Line 3 Fault 1.474%
52. CB26	**Line 8 Fault 17.35%** Line 9 Fault 0.4247% Busbar A Fault 0.4082%	**Line 8 Fault 95.77%** Line 9 Fault 4.145% Line 6 Fault 0.9969%	**Line 8 Fault 80.89%** Line 1 Fault 2.834% Busbar F Fault 0.9231%	**Line 8 Fault 77.38%** Transformer 2 Fault 3.836% Line 3 Fault 1.773%
53. CB28	**Line 9 Fault 79.37%** Busbar F Fault 1.76% Transformer 4 Fault 0.4695%	**Line 9 Fault 96.38%** Busbar A Fault 3.53% Busbar B Fault 2.017%	**Line 9 Fault 89.13%** Line 8 Fault 6.137% Line 5 Fault 1.042%	**Line 9 Fault 83.73%** Line 3 Fault 3.266% Busbar D Fault 2.891%
54. CB5 , CB13 , TMR1	**Transformer 1 Fault 97.11%** Line 4 Fault 4.805% Busbar C Fault 0.2056%	**Transformer 1 Fault 96.25%** Busbar B Fault 23.88% Busbar C Fault 17.26%	**Transformer 1 Fault 96.37%** Busbar C Fault 3.338% Line 9 Fault 1.944%	**Transformer 1 Fault 97.36%** Transformer 4 Fault 2.317% Busbar D Fault 0.7619%
55. CB6 , CB16 , TMR2	**Transformer 2 Fault 99.49%** Busbar F Fault 0.9218% Busbar B Fault 0.7594%	**Transformer 2 Fault 96.59%** Busbar B Fault 4.543% Line 7 Fault 1.989%	**Transformer 2 Fault 92.6%** Transformer 4 Fault 4.771% Busbar D Fault 1.704%	**Transformer 2 Fault 96.93%** Busbar B Fault 11.46% Busbar F Fault 4.694%

56. CB14 , TMR3	**Transformer 3 Fault 99.79%** Line 4 Fault 0.2212% Line 3 Fault 0.0454%	**Transformer 3 Fault 88.37%** Transformer 1 Fault 6.308% Transformer 4 Fault 1.369%	**Transformer 3 Fault 73.6%** Busbar B Fault 5.732% Busbar C Fault 1.337%	**Transformer 3 Fault 90.37%** Transformer 4 Fault 5.236% Line 9 Fault 3.466%
57. CB17 , TMR4	**Transformer 4 Fault 99.18%** Line 4 Fault 1.308% Busbar A Fault 0.4592%	**Transformer 4 Fault 71.11%** Busbar B Fault 3.735% Busbar A Fault 2.912%	**Transformer 4 Fault 82%** Busbar C Fault 2.393% Line 3 Fault 0.6447%	**Transformer 4 Fault 87.88%** Line 4 Fault 9.553% Transformer 1 Fault 0.7594%
58. CB1 , CB2	**Busbar A Fault 90.3%** Transformer 4 Fault 1.432% Line 6 Fault 0.6182%	**Busbar A Fault 98.96%** Busbar D Fault 3.783% Line 2 Fault 2.627%	**Busbar A Fault 84.57%** Line 1 Fault 1.746% Line 8 Fault 1.37%	**Busbar A Fault 91.61%** Line 4 Fault 2.564% Transformer 3 Fault 2.149%
59. CB5, CB6	**Busbar B Fault 94.66%** Line 4 Fault 2.21% Line 9 Fault 1.07%	**Busbar B Fault 98.84%** Transformer 2 Fault 1.475% Line 9 Fault 1.043%	**Busbar B Fault 94.94%** Line 2 Fault 1.932% Transformer 4 Fault 1.115%	**Busbar B Fault 96.56%** Transformer 1 Fault 3.836% Transformer 2 Fault 1.98%
60. CB13 , CB14 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.98%** Busbar D Fault 0.09187% Transformer 1 Fault 0.07355%	**Busbar C Fault 98.81%** Transformer 1 Fault 1.934% Busbar D Fault 0.6145%	**Busbar C Fault 96.38%** Busbar D Fault 0.7423% Busbar B Fault 0.5558%	**Busbar C Fault 97.03%** Transformer 3 Fault 4.79% Busbar A Fault 3.644%
61. CB16 , CB17 , BMRD	**Busbar D Fault 97.51%** Line 4 Fault 0.4363% Transformer 2 Fault 0.1379%	**Busbar D Fault 93.52%** Busbar A Fault 15.63% Transformer 4 Fault 9.761%	**Busbar D Fault 96.79%** Transformer 4 Fault 2.729% Busbar C Fault 0.5024%	**Busbar D Fault 95.62%** Busbar B Fault 1.93% Transformer 4 Fault 0.9253%
62. CB20 , CB21 , CB23 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.87%** Busbar F Fault 0.2721% Line 4 Fault 0.2108%	**Busbar E Fault 96.19%** Line 6 Fault 3.314% Busbar B Fault 1.257%	**Busbar E Fault 98.04%** Transformer 2 Fault 1.38% Line 4 Fault 1.181%	**Busbar E Fault 94.59%** Line 1 Fault 2.22% Transformer 3 Fault 2.177%
63. CB20 , CB25 , CB27, CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 99.91%** Busbar E Fault 0.2111% Transformer 4 Fault 0.0884%	**Busbar F Fault 97.43%** Busbar E Fault 2.241% Transformer 4 Fault 1.356%	**Busbar F Fault 98.08%** Transformer 4 Fault 1.641% Line 8 Fault 0.6411%	**Busbar F Fault 96.77%** Line 9 Fault 1.795% Line 3 Fault 1.587%

64. CB1 , CB9	**Line 1 Fault 97.15%** Busbar A Fault 1.048% Busbar F Fault 0.1019%	**Line 1 Fault 89%** Transformer 1 Fault 8.512% Busbar A Fault 2.699%	**Line 1 Fault 90.32%** Line 8 Fault 4.52% Busbar A Fault 2.554%	**Line 1 Fault 86.64%** Transformer 1 Fault 8.689% Busbar A Fault 7.228%
65. CB2 , CB10	**Line 2 Fault 97.13%** Busbar A Fault 6.013% Busbar D Fault 0.2488%	**Line 2 Fault 90.46%** Busbar A Fault 7.104% Transformer 2 Fault 2.602%	**Line 2 Fault 88.57%** Busbar B Fault 0.8721% Transformer 2 Fault 0.5141%	**Line 2 Fault 95.88%** Transformer 2 Fault 5.37% Line 8 Fault 3.397%
66. CB5 , CB9 , TMR1	**Transformer 1 Fault 91.62%** Line 4 Fault 0.5079% Busbar B Fault 0.2273%	**Transformer 1 Fault 97.43%** Line 1 Fault 1.067% Busbar A Fault 0.8421%	**Transformer 1 Fault 93.61%** Line 8 Fault 6.504% Busbar F Fault 2.128%	**Transformer 1 Fault 95.57%** Busbar B Fault 9.811% Busbar D Fault 1.594%
67. CB6 , CB10 , TMR2	**Transformer 2 Fault 99.86%** Busbar F Fault 0.2439% Transformer 3 Fault 0.1071%	**Transformer 2 Fault 98.9%** Busbar B Fault 1.914% Transformer 4 Fault 0.7686%	**Transformer 2 Fault 87.48%** Line 2 Fault 3.807% Line 4 Fault 2.178%	**Transformer 2 Fault 96.19%** Busbar B Fault 3.177% Line 7 Fault 1.542%
68. CB14 , CB24	**Transformer 3 Fault 99.28%** Line 4 Fault 0.714% Busbar B Fault 0.02256%	**Transformer 3 Fault 92.46%** Transformer 1 Fault 8.994% Transformer 4 Fault 0.9012%	**Transformer 3 Fault 89.55%** Line 5 Fault 1.621% Busbar C Fault 1.289%	**Transformer 3 Fault 95.14%** Busbar E Fault 1.936% Busbar C Fault 1.524%
69. CB17 , CB27	**Transformer 4 Fault 97.79%** Line 4 Fault 0.3035% Busbar D Fault 0.248%	**Transformer 4 Fault 93.5%** Busbar A Fault 6.308% Transformer 3 Fault 5.804%	**Transformer 4 Fault 94.28%** Busbar F Fault 0.709% Busbar B Fault 0.4186%	**Transformer 4 Fault 97.24%** Busbar B Fault 3.001% Busbar D Fault 2.918%
70. CB13 , CB14 , CB15 , BMRC	**Busbar C Fault 99.98%** Transformer 1 Fault 0.713% Line 3 Fault 0.08198%	**Busbar C Fault 97.86%** Line 4 Fault 1.9% Line 3 Fault 1.623%	**Busbar C Fault 96.31%** Busbar B Fault 9.355% Line 3 Fault 2.044%	**Busbar C Fault 96.37%** Line 1 Fault 5.765% Line 9 Fault 1.889%
71. CB16 , CB17 , CB19	**Busbar D Fault 99.51%** Line 4 Fault 0.2063% Busbar B Fault 0.09895%	**Busbar D Fault 96.04%** Busbar C Fault 14.89% Transformer 4 Fault 3.052%	**Busbar D Fault 96.96%** Busbar C Fault 2.558% Transformer 4 Fault 2.464%	**Busbar D Fault 95.16%** Line 2 Fault 1.385% Busbar A Fault 1.223%

72. CB20 , CB21 , CB22 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.87%** Line 4 Fault 0.1602% Busbar F Fault 0.144%	**Busbar E Fault 98.01%** Line 1 Fault 0.3215% Transformer 4 Fault 0.185%	**Busbar E Fault 95.15%** Transformer 4 Fault 4.118% Line 3 Fault 3.205%	**Busbar E Fault 96.91%** Transformer 3 Fault 1.768% Line 2 Fault 1.093%
73. CB20 , CB25 , CB26 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 99.87%** Busbar B Fault 0.2015% Transformer 4 Fault 0.0563%	**Busbar F Fault 97.43%** Line 6 Fault 1.047% Line 9 Fault 0.9229%	**Busbar F Fault 96.51%** Line 8 Fault 4.989% Busbar D Fault 1.057%	**Busbar F Fault 97%** Line 8 Fault 2.775% Transformer 2 Fault 2.585%
74. CB5 , CB9 , CB13	**Transformer 1 Fault 99.47%** Line 4 Fault 0.1732% Line 1 Fault 0.06346%	**Transformer 1 Fault 99.35%** Busbar B Fault 1.255% Busbar C Fault 0.987%	**Transformer 1 Fault 95.4%** Busbar C Fault 1.559% Busbar B Fault 1.307%	**Transformer 1 Fault 94.43%** Transformer 4 Fault 2.296% Line 1 Fault 0.7709%
75. CB6 , CB10 , CB16	**Transformer 2 Fault 99.82%** Transformer 4 Fault 0.0999% Line 4 Fault 0.08456%	**Transformer 2 Fault 97.09%** Busbar B Fault 3.924% Transformer 4 Fault 0.885%	**Transformer 2 Fault 94.17%** Line 2 Fault 3.303% Line 4 Fault 0.493%	**Transformer 2 Fault 96.42%** Busbar B Fault 4.732% Line 5 Fault 2.798%
76. CB13 , CB14 , CB15 , CB19	**Busbar C Fault 99.98%** Transformer 1 Fault 0.0739% Busbar D Fault 0.06248%	**Busbar C Fault 98.21%** Line 3 Fault 1.599% Transformer 1 Fault 0.7307%	**Busbar C Fault 97.89%** Line 3 Fault 0.8905% Busbar B Fault 0.7454%	**Busbar C Fault 95.88%** Line 1 Fault 3.658% Busbar A Fault 1.355%
77. CB20, CB21 , CB22 , CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 99.69%** Line 4 Fault 0.07294% Line 5 Fault 0.03826%	**Busbar E Fault 94.66%** Line 6 Fault 24.26% Busbar F Fault 1.72%	**Busbar E Fault 98.21%** Line 5 Fault 1.248% Transformer 2 Fault 0.8363%	**Busbar E Fault 96.25%** Line 6 Fault 1.365% Line 1 Fault 1.262%
78. CB20 , CB25 , CB26 , CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 99.89%** Line 7 Fault 0.3467% Transformer 4 Fault 0.131%	**Busbar F Fault 98.88%** Transformer 4 Fault 0.4985% Busbar B Fault 0.4445%	**Busbar F Fault 98.57%** Transformer 4 Fault 1.315% Line 1 Fault 0.7199%	**Busbar F Fault 95.28%** Line 8 Fault 2.228% Line 3 Fault 1.07%
79. CB20 . CB21 , CB22 , CB23 , CB24	**Busbar E Fault 99.86%** Line 4 Fault 0.08055% Busbar F Fault 0.05582%	**Busbar E Fault 97.98%** Line 6 Fault 2.271% Line 1 Fault 1.011%	**Busbar E Fault 98.28%** Line 5 Fault 2.247% Transformer 2 Fault 1.049%	**Busbar E Fault 97.14%** Transformer 3 Fault 2.889% Line 5 Fault 1.139%

80. CB20 , CB25 , CB26 , CB27 , CB28	**Busbar F Fault 99.78%**	**Busbar F Fault 97.98%**	**Busbar F Fault 98.7%**	**Busbar F Fault 97.62%**
	Transformer 4 Fault 0.1527%	Line 9 Fault 0.5712%	Busbar B Fault 1.088%	Line 8 Fault 1.445%
	Busbar B Fault 0.08664%	Transformer 2 Fault 0.45%	Transformer 4 Fault 0.9769%	Line 3 Fault 0.9515%
81. BMRA	**Line 4 Fault 12.85%**	**Busbar A Fault 50.69%**	**Busbar A Fault 51.98%**	**Busbar A Fault 41.27%**
	Busbar A Fault 7.131%	Transformer 1 Fault 4.847%	Transformer 4 Fault 4.019%	Busbar D Fault 1.771%
	Transformer 4 Fault 2.521%	Line 9 Fault 3.435%	Line 9 Fault 2.369%	Line 8 Fault 0.9149%
82. BMRB	**Busbar A Fault 15.08%**	**Busbar B Fault 80.41%**	**Busbar B Fault 74.41%**	**Busbar B Fault 60.2%**
	Busbar B Fault 12.3%	Transformer 1 Fault 7.651%	Busbar A Fault 4.174%	Line 6 Fault 41.39%
	Transformer 4 Fault 3.184%	Transformer 4 Fault 6.399%	Line 2 Fault 2.028%	Line 4 Fault 3.117%
83. CB15 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.89%**	**Busbar C Fault 96.31%**	**Busbar C Fault 95.44%**	**Line 8 Fault 31.22%**
	Busbar D Fault 0.5423%	Line 3 Fault 7.471%	Line 3 Fault 1.424%	Busbar C Fault 24.3%
	Line 3 Fault 0.4855%	Busbar D Fault 0.9639%	Transformer 4 Fault 0.5644%	Line 3 Fault 4.135%
84. CB19 , BMRD	**Busbar D Fault 99.36%**	**Busbar D Fault 95.86%**	**Busbar D Fault 88.68%**	**Busbar D Fault 91.43%**
	Line 5 Fault 2.58%	Busbar C Fault 6.801%	Transformer 1 Fault 1.351%	Line 2 Fault 2.457%
	Busbar C Fault 0.1178%	Transformer 1 Fault 1.409%	Line 6 Fault 1.178%	Busbar A Fault 0.7695%
85. CB22 , CB23 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.76%**	**Busbar E Fault 95.89%**	**Busbar E Fault 91.37%**	**Busbar E Fault 96.92%**
	Line 5 Fault 0.0491%	Line 1 Fault 1.394%	Line 5 Fault 18.89%	Line 5 Fault 1.848%
	Line 4 Fault 0.04448%	Line 6 Fault 0.8293%	Line 6 Fault 2.878%	Line 6 Fault 1.5%
86. CB26 , CB27, CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 98.14%**	**Busbar F Fault 95.6%**	**Busbar F Fault 93%**	**Busbar F Fault 92.18%**
	Busbar B Fault 0.8828%	Transformer 4 Fault 1.786%	Line 8 Fault 3.304%	Line 9 Fault 9.045%
	Transformer 4 Fault 0.1896%	Line 9 Fault 1.076%	Transformer 4 Fault 1.312%	Line 3 Fault 2.811%
87. LMR1	**Line 1 Fault 3.102%**	**Line 1 Fault 27.68%**	**Line 1 Fault 51.14%**	**Line 6 Fault 59.17%**
	Line 4 Fault 2.581%	Transformer 4 Fault 0.821%	Line 2 Fault 5.854%	Busbar B Fault 8.531%
	Busbar A Fault 1.251%	Line 7 Fault 0.7877%	Line 8 Fault 1.545%	Line 1 Fault 5.526%

88. LMR2	**Line 2 Fault 63.66%** Busbar A Fault 4.215% Line 3 Fault 1.722%	**Busbar A Fault 8.946%** Line 3 Fault 4.094% Line 6 Fault 2.658%	**Line 2 Fault 90.2%** Line 5 Fault 2.168% Line 7 Fault 0.6971%	**Line 2 Fault 21.19%** Line 6 Fault 5.654% Line 4 Fault 4.7%
89. CB13 , TMR1	**Transformer 1 Fault 91.67%** Line 4 Fault 31.6% Busbar C Fault 0.3393%	**Transformer 1 Fault 88.33%** Busbar C Fault 22.82% Line 4 Fault 5.394%	**Transformer 1 Fault 92.17%** Line 9 Fault 3.518% Busbar C Fault 0.8952%	**Transformer 1 Fault 89.85%** Line 1 Fault 6.504% Line 7 Fault 2.656%
90. CB16 , TMR2	**Transformer 2 Fault 98.41%** Busbar E Fault 2.236% Busbar F Fault 0.8045%	**Transformer 2 Fault 70.51%** Line 4 Fault 8.891% Line 7 Fault 8.125%	**Transformer 2 Fault 42.36%** Busbar D Fault 10.6% Busbar B Fault 4.183%	**Transformer 2 Fault 91.37%** Line 8 Fault 13.22% Line 7 Fault 2.062%
91. TMR3	**Transformer 3 Fault 91.9%** Line 4 Fault 5.119% Busbar B Fault 0.3315%	**Transformer 3 Fault 55.09%** Transformer 1 Fault 5.186% Transformer 4 Fault 3.509%	**Transformer 3 Fault 28.76%** Busbar A Fault 1.313% Busbar B Fault 1.109%	**Line 4 Fault 46.73%** Transformer 3 Fault 17.86% Transformer 4 Fault 9.675%
92. TMR4	**Transformer 4 Fault 74.28%** Line 4 Fault 8.596% Busbar A Fault 1.824%	**Line 4 Fault 7.782%** Transformer 4 Fault 6.028% Transformer 1 Fault 2.55%	**Busbar B Fault 8.185%** Transformer 4 Fault 3.993% Line 2 Fault 1.284%	**Transformer 4 Fault 10.5%** Line 4 Fault 5.229% Line 1 Fault 2.106%
93. CB2	**Busbar A Fault 40.42%** Line 2 Fault 4.092% Line 3 Fault 0.4376%	**Busbar A Fault 87.06%** Line 2 Fault 11.3% Busbar B Fault 8.545%	**Busbar A Fault 7.195%** Line 2 Fault 6.01% Line 7 Fault 3.24%	**Line 2 Fault 74.02%** Busbar A Fault 15.63% Line 4 Fault 4.704%
94. CB6	**Line 4 Fault 18.03%** Transformer 2 Fault 6.422% Busbar B Fault 3.625%	**Busbar B Fault 76.9%** Transformer 2 Fault 24.36% Line 4 Fault 2.219%	**Transformer 2 Fault 6.43%** Busbar B Fault 6.427% Line 2 Fault 1.417%	**Busbar B Fault 91.18%** Transformer 2 Fault 12.03% Line 3 Fault 1.582%
95. CB14 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.94%** Busbar D Fault 0.2802% Busbar A Fault 0.05658%	**Busbar C Fault 98.47%** Transformer 1 Fault 1.406% Busbar D Fault 0.8895%	**Busbar C Fault 94.15%** Busbar D Fault 0.5192% Busbar B Fault 0.5021%	**Busbar C Fault 60.77%** Line 9 Fault 39.6% Transformer 3 Fault 6.377%

96. CB17 , BMRD	**Busbar D Fault 94.43%** Transformer 4 Fault 2.352% Line 4 Fault 0.1965%	**Busbar D Fault 87.47%** Busbar A Fault 31.09% Transformer 4 Fault 12.38%	**Busbar D Fault 72.58%** Transformer 4 Fault 11.57% Transformer 1 Fault 0.9935%	**Busbar D Fault 55.8%** Transformer 4 Fault 28.88% Busbar B Fault 2.931%
97. CB21 , CB23 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.86%** Line 4 Fault 0.6328% Transformer 3 Fault 0.0781%	**Busbar E Fault 64.8%** Line 6 Fault 7.319% Busbar B Fault 4.898%	**Busbar E Fault 96.79%** Line 5 Fault 1.973% Transformer 2 Fault 1.436%	**Busbar E Fault 68.45%** Line 1 Fault 7.093% Line 4 Fault 6.05%
98. CB25 , CB27 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 99.86%** Transformer 4 Fault 0.2085% Line 7 Fault 0.1592%	**Busbar F Fault 70.27%** Transformer 4 Fault 6.763% Line 9 Fault 4.378%	**Busbar F Fault 75.38%** Transformer 4 Fault 2.2% Line 9 Fault 2.046%	**Busbar F Fault 81.65%** Line 3 Fault 14.08% Line 9 Fault 4.124%
99. CB9	**Line 1 Fault 5.083%** Line 4 Fault 1.145% Transformer 1 Fault 0.5854%	**Transformer 1 Fault 53.05%** Line 1 Fault 23.76% Busbar A Fault 0.6105%	**Line 8 Fault 27.44%** Line 1 Fault 18.05% Transformer 1 Fault 1.984%	**Line 7 Fault 19.08%** Line 3 Fault 4.86% Line 1 Fault 3.262%
100. CB10	**Transformer 2 Fault 10.43%** Line 4 Fault 0.9308% Busbar A Fault 0.8158%	**Transformer 2 Fault 52.25%** Line 4 Fault 2.201% Transformer 4 Fault 1.103%	**Line 2 Fault 80.71%** Transformer 2 Fault 7.196% Line 4 Fault 1.166%	**Line 2 Fault 38.97%** Transformer 2 Fault 30.07% Line 5 Fault 8.454%
101. CB9 , TMR1	**Transformer 1 Fault 27.51%** Line 4 Fault 1.354% Transformer 2 Fault 1.269%	**Transformer 1 Fault 84.34%** Line 1 Fault 11.62% Busbar A Fault 0.3783%	**Transformer 1 Fault 50.33%** Line 8 Fault 31.08% Busbar F Fault 5.454%	**Transformer 1 Fault 88.73%** Line 7 Fault 21.76% Line 3 Fault 4.084%
102. CB10 , TMR2	**Transformer 2 Fault 99.63%** Busbar F Fault 0.1619% Line 4 Fault 0.05878%	**Transformer 2 Fault 97.33%** Line 4 Fault 2.027% Transformer 4 Fault 1.273%	**Transformer 2 Fault 54.21%** Line 2 Fault 27.47% Line 4 Fault 3.577%	**Transformer 2 Fault 85.53%** Line 7 Fault 6.985% Line 2 Fault 5.814%
103. CB24	**Transformer 3 Fault 38.86%** Busbar E Fault 16.15% Line 4 Fault 11.2%	**Transformer 3 Fault 53.88%** Transformer 1 Fault 8.641% Transformer 4 Fault 2.132%	**Transformer 3 Fault 25.79%** Busbar E Fault 2.792% Line 5 Fault 1.783%	**Transformer 3 Fault 67.13%** Line 4 Fault 9.761% Line 2 Fault 6.203%

104. CB27	**Transformer 4 Fault 45.83%** Line 4 Fault 1.315% Busbar F Fault 0.5722%	**Transformer 4 Fault 61.16%** Transformer 3 Fault 2.351% Busbar A Fault 2.283%	**Transformer 4 Fault 25.95%** Line 3 Fault 1.141% Busbar B Fault 1.133%	**Transformer 4 Fault 65.82%** Line 9 Fault 3.803% Line 3 Fault 3.104%
105. CB1	**Busbar A Fault 16.67%** Line 1 Fault 8.428% Transformer 4 Fault 2.903%	**Busbar A Fault 32.72%** Transformer 1 Fault 4.568% Line 1 Fault 3.735%	**Line 1 Fault 30.98%** Busbar A Fault 25.2% Line 8 Fault 1.27%	**Line 1 Fault 58.71%** Busbar A Fault 18.38% Line 4 Fault 2.917%
106. CB5	**Busbar B Fault 39.08%** Line 4 Fault 7.341% Busbar A Fault 3.71%	**Busbar B Fault 56.45%** Transformer 1 Fault 46.02% Busbar A Fault 6.365%	**Busbar B Fault 55.61%** Transformer 1 Fault 8.836% Line 2 Fault 1.15%	**Busbar B Fault 75.97%** Transformer 4 Fault 12.25% Transformer 1 Fault 3.177%
107. CB14 , CB15 , BMRC	**Busbar C Fault 99.8%** Transformer 3 Fault 0.5676% Line 3 Fault 0.3924%	**Busbar C Fault 96.13%** Line 3 Fault 2.972% Line 4 Fault 2.908%	**Busbar C Fault 55.63%** Busbar B Fault 34.77% Line 3 Fault 9.539%	**Busbar C Fault 72.25%** Line 9 Fault 63.72% Line 6 Fault 2.678%
108. CB17 , CB19	**Busbar D Fault 93.64%** Busbar C Fault 6.022% Transformer 4 Fault 0.3015%	**Busbar D Fault 90.97%** Busbar C Fault 21.98% Transformer 4 Fault 3.349%	**Busbar D Fault 64%** Busbar C Fault 7.856% Transformer 4 Fault 4.894%	**Busbar D Fault 33.46%** Transformer 4 Fault 16.56% Busbar A Fault 3.366%
109. CB21 , CB22 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.89%** Line 4 Fault 0.6054% Transformer 3 Fault 0.0358%	**Busbar E Fault 65.49%** Transformer 4 Fault 1.463% Line 5 Fault 1.212%	**Busbar E Fault 93.17%** Transformer 4 Fault 3.697% Line 3 Fault 3.627%	**Busbar E Fault 95.11%** Transformer 3 Fault 3.4% Line 2 Fault 1.665%
110. CB25 , CB26 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 99.66%** Line 7 Fault 0.1173% Transformer 4 Fault 0.1015%	**Busbar F Fault 72.61%** Line 8 Fault 20.94% Line 9 Fault 17.46%	**Busbar F Fault 55.79%** Line 8 Fault 27.35% Line 9 Fault 3.311%	**Busbar F Fault 94.55%** Line 8 Fault 2.998% Transformer 2 Fault 2.319%
111. CB9 , CB13	**Transformer 1 Fault 95.07%** Line 4 Fault 0.4965% Line 1 Fault 0.1677%	**Transformer 1 Fault 96.91%** Busbar C Fault 0.8211% Line 1 Fault 0.436%	**Transformer 1 Fault 75.99%** Line 8 Fault 6.095% Line 4 Fault 1.501%	**Line 1 Fault 49.21%** Transformer 1 Fault 47.11% Line 7 Fault 4.527%

112. CB10 , CB16	**Transformer 2 Fault 98.9%**	**Transformer 2 Fault 75.73%**	**Transformer 2 Fault 38.92%**	**Transformer 2 Fault 90.65%**
	Line 4 Fault 0.1454%	Transformer 4 Fault 1.44%	Line 2 Fault 32.21%	Line 2 Fault 10.79%
	Busbar D Fault 0.1229%	Line 2 Fault 0.6632%	Line 6 Fault 3.485%	Line 5 Fault 7.534%
113. CB14	**Transformer 3 Fault 88.11%**	**Transformer 1 Fault 32.9%**	**Busbar B Fault 9.253%**	**Transformer 3 Fault 29.63%**
	Line 4 Fault 2.954%	Busbar C Fault 9.178%	Busbar C Fault 6.872%	Line 9 Fault 28.75%
	Line 3 Fault 0.1596%	Transformer 3 Fault 5.482%	Line 2 Fault 4.282%	Busbar C Fault 8.872%
114. CB17	**Transformer 4 Fault 68.91%**	**Transformer 4 Fault 31.09%**	**Transformer 4 Fault 25.39%**	**Transformer 4 Fault 58.51%**
	Line 4 Fault 9.987%	Busbar D Fault 11.54%	Line 9 Fault 1.201%	Line 4 Fault 24.32%
	Busbar D Fault 0.4177%	Busbar A Fault 11.06%	Busbar C Fault 0.9322%	Busbar B Fault 2.249%
115. CB14 , CB15 , CB19	**Busbar C Fault 99.78%**	**Busbar C Fault 96.36%**	**Busbar C Fault 91.88%**	**Busbar C Fault 73.47%**
	Line 3 Fault 0.2631%	Line 3 Fault 2.96%	Busbar B Fault 3.006%	Line 9 Fault 49.86%
	Busbar D Fault 0.1894%	Busbar D Fault 0.9206%	Line 3 Fault 2.436%	Transformer 3 Fault 1.144%
116. CB16 , BMRD	**Busbar D Fault 84.41%**	**Busbar D Fault 42.71%**	**Busbar D Fault 92.69%**	**Busbar D Fault 77.05%**
	Transformer 2 Fault 3.42%	Busbar A Fault 4.762%	Line 6 Fault 0.8673%	Transformer 2 Fault 23.72%
	Line 4 Fault 2.232%	Transformer 1 Fault 1.436%	Transformer 4 Fault 0.3292%	Busbar B Fault 5.325%
117. CB21 , CB22 , CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 98.94%**	**Line 6 Fault 71.75%**	**Busbar E Fault 89.48%**	**Busbar E Fault 90.9%**
	Line 5 Fault 0.3806%	Busbar E Fault 51.9%	Line 5 Fault 9.99%	Line 6 Fault 14.69%
	Line 4 Fault 0.3148%	Line 5 Fault 0.3404%	Line 6 Fault 4.762%	Line 1 Fault 3.068%
118. CB25 , CB26 , CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 99.64 %**	**Busbar F Fault 84.54%**	**Busbar F Fault 91.29%**	**Busbar F Fault 84.37%**
	Line 7 Fault 3.536%	Line 8 Fault 3.602%	Line 8 Fault 3.197%	Line 3 Fault 4.352%
	Transformer 4 Fault 0.5135%	Transformer 4 Fault 1.399%	Transformer 1 Fault 1.097%	Line 8 Fault 2.392%
119. CB5 , TMR1	**Line 4 Fault 24.6%**	**Transformer 1 Fault 93.21%**	**Transformer 1 Fault 87.96%**	**Transformer 1 Fault 83.88%**
	Busbar B Fault 6.763%	Busbar B Fault 20.99%	Busbar B Fault 1.214%	Busbar B Fault 32.04%
	Transformer 1 Fault 3.54%	Busbar A Fault 1.882%	Line 9 Fault 1.159%	Busbar D Fault 6.541%

120. CB6 , TMR2	**Transformer 2 Fault 98.09%**	**Transformer 2 Fault 92.49%**	**Transformer 2 Fault 68.67%**	**Transformer 2 Fault 86.77%**
	Busbar F Fault 2.204%	Busbar B Fault 17.92%	Transformer 3 Fault 0.8549%	Busbar B Fault 39.43%
	Line 4 Fault 0.427%	Line 4 Fault 3.72%	Transformer 4 Fault 0.8396%	Line 7 Fault 1.358%
121. CB13 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.95%**	**Busbar C Fault 98.28%**	**Busbar C Fault 87.73%**	**Busbar C Fault 45.93%**
	Busbar D Fault 0.3001%	Transformer 1 Fault 1.373%	Busbar D Fault 1.762%	Line 8 Fault 15.56%
	Transformer 1 Fault 0.0654%	Busbar D Fault 1.255%	Transformer 1 Fault 0.5407%	Busbar A Fault 11.36%
122. CB16, CB19	**Busbar D Fault 97.84%**	**Busbar D Fault 52.93%**	**Busbar D Fault 87.62%**	**Busbar D Fault 45.78%**
	Line 4 Fault 2.36%	Busbar C Fault 49.15%	Busbar C Fault 1.263%	Line 8 Fault 21.37%
	Busbar B Fault 0.3734%	Line 8 Fault 1.791%	Line 6 Fault 1.182%	Transformer 2 Fault 13.67%
123. CB21 , CB22 , CB23 , CB24	**Busbar E Fault 99.53%**	**Busbar E Fault 46.75%**	**Busbar E Fault 88.49%**	**Busbar E Fault 91.3%**
	Line 4 Fault 0.3291%	Line 6 Fault 3.971%	Line 5 Fault 18.65%	Transformer 3 Fault 5.055%
	Line 5 Fault 0.1353%	Line 1 Fault 1.437%	Line 6 Fault 4.517%	Line 6 Fault 3.901%
124. CB25 , CB26 , CB27 , CB28	**Busbar F Fault 98.91%**	**Busbar F Fault 65.29%**	**Busbar F Fault 92.84%**	**Busbar F Fault 95.76%**
	Transformer 4 Fault 0.4725%	Line 9 Fault 18.51%	Line 8 Fault 4.192%	Line 3 Fault 2.891%
	Line 7 Fault 0.1908%	Line 8 Fault 5.309%	Transformer 4 Fault 0.817%	Busbar D Fault 1.73%
125. CB5 , CB13	**Transformer 1 Fault 66.96%**	**Transformer 1 Fault 81.24%**	**Transformer 1 Fault 73.65%**	**Transformer 1 Fault 71.47%**
	Line 4 Fault 2.938%	Busbar B Fault 47.27%	Busbar C Fault 13.77%	Transformer 4 Fault 20.14%
	Busbar C Fault 0.3272%	Busbar C Fault 35.65%	Busbar B Fault 5.33%	Busbar B Fault 1.143%
126. CB6 , CB16	**Transformer 2 Fault 98.69%**	**Transformer 2 Fault 56.47%**	**Transformer 2 Fault 68%**	**Transformer 2 Fault 88.06%**
	Line 4 Fault 2.794%	Busbar B Fault 35.72%	Busbar D Fault 4.183%	Busbar B Fault 49.13%
	Busbar E Fault 0.7804%	Line 9 Fault 1.834%	Transformer 4 Fault 1.522%	Busbar D Fault 4.196%
127. CB13 , CB15 , BMRC	**Busbar C Fault 99.93%**	**Busbar C Fault 96.99%**	**Busbar C Fault 95.31%**	**Busbar C Fault 34.98%**
	Transformer 1 Fault 1.262%	Line 3 Fault 8.086%	Line 3 Fault 6.858%	Line 3 Fault 15.47%
	Line 3 Fault 0.627%	Line 4 Fault 2.508%	Busbar B Fault 3.133%	Line 1 Fault 7.784%

128. CB16 , CB17	**Transformer 2 Fault 24.59%**	**Transformer 4 Fault 31.56%**	**Busbar D Fault 84.18%**	**Busbar D Fault 74%**
	Busbar D Fault 13.54%	Busbar D Fault 27.57%	Transformer 4 Fault 8.279%	Busbar B Fault 2.486%
	Line 4 Fault 4.922%	Busbar A Fault 4.126%	Busbar C Fault 0.9799%	Transformer 4 Fault 0.7763%
129. CB20, CB23 , CB24, BMRE	**Busbar E Fault 99.73%**	**Busbar E Fault 95.42%**	**Busbar E Fault 97.42%**	**Busbar E Fault 96.91%**
	Busbar F Fault 0.6953%	Busbar A Fault 1.64%	Busbar F Fault 1.022%	Line 1 Fault 1.281%
	Transformer 3 Fault 0.0605%	Line 6 Fault 1.3%	Line 1 Fault 0.6611%	Transformer 3 Fault 1.036%
130. CB20, CB27 , CB28, BMRF	**Busbar F Fault 99.19%**	**Busbar F Fault 90.1%**	**Busbar F Fault 97.03%**	**Busbar F Fault 79.01%**
	Busbar E Fault 4.163%	Busbar E Fault 5.776%	Transformer 4 Fault 3.438%	Line 9 Fault 23.5%
	Transformer 4 Fault 0.0758%	Busbar A Fault 3.527%	Busbar E Fault 1.111%	Line 3 Fault 1.337%
131. CB5 , CB9	**Line 1 Fault 3.506%**	**Transformer 1 Fault 92.82%**	**Transformer 1 Fault 40.64%**	**Busbar B Fault 57.88%**
	Transformer 1 Fault 2.827%	Busbar A Fault 2.004%	Busbar B Fault 12.38%	Transformer 1 Fault 33.71%
	Busbar B Fault 2.386%	Line 9 Fault 1.168%	Line 8 Fault 5.988%	Transformer 4 Fault 4.038%
132. CB6 , CB10	**Transformer 2 Fault 96.58%**	**Transformer 2 Fault 93.67%**	**Transformer 2 Fault 46.57%**	**Transformer 2 Fault 80.53%**
	Transformer 3 Fault 0.5072%	Busbar B Fault 19.27%	Line 2 Fault 35.95%	Busbar B Fault 13.57%
	Busbar B Fault 0.4156%	Transformer 4 Fault 0.5727%	Line 4 Fault 1.08%	Line 2 Fault 7.84%
133. CB13 , CB15 , CB19	**Busbar C Fault 99.87%**	**Busbar C Fault 96.37%**	**Busbar C Fault 92.07%**	**Busbar C Fault 12.78%**
	Line 3 Fault 0.3902%	Line 3 Fault 8.136%	Transformer 1 Fault 7.477%	Line 1 Fault 5.112%
	Busbar D Fault 0.2466%	Busbar D Fault 1.067%	Line 9 Fault 2.136%	Busbar A Fault 2.48%
134. CB20 , CB22 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.74%**	**Busbar E Fault 97.35%**	**Busbar E Fault 92.68%**	**Busbar E Fault 85.55%**
	Busbar F Fault 0.342%	Line 1 Fault 0.7411%	Line 3 Fault 3.737%	Line 8 Fault 9.694%
	Line 4 Fault 0.0536%	Busbar D Fault 0.448%	Busbar F Fault 3.046%	Line 5 Fault 4.341%
135. CB20 , CB26 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 98.82%**	**Busbar F Fault 97.64%**	**Busbar F Fault 89.78%**	**Busbar F Fault 96.09%**
	Busbar E Fault 2.673%	Busbar E Fault 1.278%	Line 8 Fault 5.663%	Line 9 Fault 2.181%
	Line 9 Fault 0.07967%	Line 6 Fault 0.7686%	Line 9 Fault 1.325%	Busbar D Fault 1.162%

136. CB13 , CB14 , BMRC	**Busbar C Fault 99.87%**	**Busbar C Fault 96.44%**	**Busbar C Fault 94.63%**	**Busbar C Fault 95.96%**
	Transformer 1 Fault 1.797%	Transformer 1 Fault 10.0%2	Busbar B Fault 2.707%	Line 1 Fault 4.811%
	Transformer 3 Fault 0.613%	Line 4 Fault 2.935%	Line 2 Fault 2.168%	Transformer 3 Fault 3.77%
137. CB20, CB22 , CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 98.7%**	**Busbar E Fault 97.34%**	**Busbar E Fault 96.13%**	**Busbar E Fault 62.08%**
	Line 5 Fault 0.2081%	Line 6 Fault 11.43%	Line 6 Fault 3.214%	Line 5 Fault 18.95%
	Busbar F Fault 0.03177%	Busbar F Fault 1.036%	Line 5 Fault 2.958%	Line 8 Fault 5.503%
138. CB20 , CB26 , CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 99.48%**	**Busbar F Fault 98.29%**	**Busbar F Fault 97.52%**	**Busbar F Fault 97.14%**
	Busbar E Fault 1.864%	Busbar E Fault 2.198%	Transformer 4 Fault 3.056%	Busbar C Fault 1.326%
	Transformer 4 Fault 0.1124%	Transformer 4 Fault 0.7623%	Line 1 Fault 1.603%	Line 3 Fault 1.04%
139. CB20 , CB22 , CB23 , CB24	**Busbar E Fault 99.64%**	**Busbar E Fault 97.56%**	**Busbar E Fault 95.9%**	**Busbar E Fault 92.78%**
	Busbar F Fault 0.1144%	Line 1 Fault 3.259%	Line 5 Fault 5.012%	Line 5 Fault 9.803%
	Line 5 Fault 0.04607%	Line 6 Fault 1.188%	Line 6 Fault 2.068%	Line 6 Fault 1.52%
140. CB20 , CB26 , CB27 , CB28	**Busbar F Fault 96.05%**	**Busbar F Fault 97.31%**	**Busbar F Fault 96.76%**	**Busbar F Fault 94.03%**
	Busbar E Fault 1.796%	Busbar E Fault 0.7966%	Busbar E Fault 3.475%	Line 9 Fault 5.415%
	Line 9 Fault 0.3066%	Transformer 4 Fault 0.6932%	Transformer 4 Fault 1.745%	Busbar D Fault 2.007%
141. CB20 , CB21 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.74%**	**Busbar E Fault 90.27%**	**Busbar E Fault 79.83%**	**Busbar E Fault 82.76%**
	Busbar F Fault 1.366%	Busbar B Fault 1.631%	Busbar F Fault 11.44%	Transformer 3 Fault 9.255%
	Line 4 Fault 1.21%	Busbar A Fault 0.9381%	Transformer 4 Fault 4.583%	Line 2 Fault 1.944%
142. CB20 , CB25 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 99.87%**	**Busbar F Fault 93.15%**	**Busbar F Fault 90.71%**	**Busbar F Fault 93.49%**
	Busbar E Fault 0.3097%	Line 9 Fault 2.319%	Line 8 Fault 3.837%	Line 5 Fault 3.422%
	Line 7 Fault 0.05808%	Busbar B Fault 1.646%	Line 9 Fault 2.238%	Line 3 Fault 1.234%
143. CB13 , CB14 , CB19	**Busbar C Fault 99.92%**	**Busbar C Fault 97.07%**	**Busbar C Fault 90.64%**	**Busbar C Fault 80.71%**
	Busbar D Fault 0.1365%	Transformer 1 Fault 8.181%	Busbar D Fault 1.071%	Transformer 3 Fault 19.11%
	Transformer 1 Fault 0.1217%	Busbar D Fault 1.019%	Line 9 Fault 0.5302%	Busbar A Fault 10.19%

144. CB13 , CB14 , CB15	**Busbar C Fault 98.92%** Transformer 1 Fault 2.103% Transformer 3 Fault 0.8749%	**Busbar C Fault 93.88%** Line 4 Fault 3.22% Line 3 Fault 3.151%	**Busbar C Fault 88.8%** Busbar B Fault 11.4% Line 3 Fault 6.175%	**Busbar C Fault 91.63%** Line 1 Fault 20.09% Transformer 4 Fault 7.787%
145. CB20 , CB21 , CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 99.6%** Line 4 Fault 0.4308% Busbar F Fault 0.1672%	**Line 6 Fault 70.22%** Busbar E Fault 67.57% Busbar F Fault 3.314%	**Busbar E Fault 94.36%** Transformer 2 Fault 1.234% Line 4 Fault 0.8921%	**Busbar E Fault 90.64%** Line 1 Fault 11.56% Line 6 Fault 9.688%
146. CB20 , CB25 , CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 99.89%** Line 7 Fault 0.3799% Transformer 4 Fault 0.1738%	**Busbar F Fault 94.65%** Busbar E Fault 3.015% Transformer 4 Fault 1.61%	**Busbar F Fault 96.97%** Transformer 4 Fault 3.08% Busbar A Fault 0.7274%	**Busbar F Fault 85.49%** Line 3 Fault 3.067% Line 8 Fault 0.2618%
147. CB20 , CB21 , CB23 , CB24	**Busbar E Fault 99.76%** Busbar F Fault 0.4845% Line 4 Fault 0.2203%	**Busbar E Fault 85.2%** Line 6 Fault 11.42% Busbar A Fault 1.467%	**Busbar E Fault 96.78%** Transformer 2 Fault 1.639% Line 4 Fault 0.924%	**Busbar E Fault 81%** Transformer 3 Fault 19.66% Line 4 Fault 1.523%
148. CB20 , CB25 , CB27 , CB28	**Busbar F Fault 99.82%** Transformer 4 Fault 0.2306% Busbar E Fault 0.1517%	**Busbar F Fault 84.88%** Transformer 4 Fault 2.616% Line 9 Fault 2.55%	**Busbar F Fault 97.09%** Transformer 4 Fault 2.479% Busbar E Fault 0.7204%	**Busbar F Fault 94.06%** Line 9 Fault 1.936% Line 3 Fault 1.819%
149. CB20 , CB21 , CB22 , BMRE	**Busbar E Fault 99.44%** Line 4 Fault 0.151% Busbar F Fault 0.06791%	**Busbar E Fault 93.8%** Busbar F Fault 1.475% Line 6 Fault 0.589%	**Busbar E Fault 93.72%** Transformer 4 Fault 4.579% Line 3 Fault 2.843%	**Busbar E Fault 90.07%** Line 8 Fault 6.867% Line 5 Fault 1.423%
150. CB20 , CB25 , CB26 , BMRF	**Busbar F Fault 99.83%** Line 7 Fault 0.3938% Transformer 4 Fault 0.0923%	**Busbar F Fault 92.02%** Line 8 Fault 3.382% Line 6 Fault 0.7996%	**Busbar F Fault 95.77%** Line 8 Fault 5.761% Line 1 Fault 0.864%	**Busbar F Fault 59.44%** Line 8 Fault 31.96% Transformer 2 Fault 14.4%
151. CB20 , CB21 , CB22 , CB24	**Busbar E Fault 99.76%** Line 4 Fault 0.1855% Busbar F Fault 0.1561%	**Busbar E Fault 84.98%** Line 1 Fault 2.141% Transformer 4 Fault 0.4865%	**Busbar E Fault 94.81%** Transformer 4 Fault 2.46% Line 3 Fault 2.247%	**Busbar E Fault 93.31%** Transformer 3 Fault 11.1% Line 2 Fault 2.678%

152. CB20 , CB25 , CB26 , CB28	**Busbar F Fault 99.63%** Busbar B Fault 0.1266% Transformer 4 Fault 0.1212%	**Busbar F Fault 84.63%** Line 8 Fault 9.821% Line 9 Fault 8.68%	**Busbar F Fault 93.42%** Line 8 Fault 6.798% Busbar B Fault 0.7296%	**Busbar F Fault 90.86%** Line 8 Fault 13.48% Transformer 2 Fault 9.455%
153. CB20 , CB21 , CB22 , CB23	**Busbar E Fault 98.4%** Line 5 Fault 0.3528% Line 4 Fault 0.1018%	**Busbar E Fault 81.49%** Line 6 Fault 65.88% Busbar F Fault 0.7996%	**Busbar E Fault 93.61%** Line 6 Fault 5.104% Line 5 Fault 3.71%	**Busbar E Fault 91.82%** Line 6 Fault 4.385% Line 5 Fault 3.812%
154. CB20 , CB25 , CB26 , CB27	**Busbar F Fault 99.62%** Line 7 Fault 1.066% Transformer 4 Fault 0.3826%	**Busbar F Fault 94.44%** Line 8 Fault 1.308% Transformer 4 Fault 0.3927%	**Busbar F Fault 97.54%** Transformer 4 Fault 1.686% Line 1 Fault 1.23%	**Busbar F Fault 75.49%** Line 8 Fault 13.03% Transformer 2 Fault 4.929%
155. BMRD	**Busbar D Fault 63.34%** Line 4 Fault 1.957% Busbar A Fault 0.8411%	**Busbar D Fault 28.43%** Busbar A Fault 14.9% Transformer 1 Fault 6.252%	**Line 7 Fault 6.822%** Busbar D Fault 6.147% Line 9 Fault 1.41%	**Busbar D Fault 51.08%** Busbar B Fault 4.415% Line 2 Fault 1.262%
156. CB19	**Busbar D Fault 38.46%** Busbar C Fault 2.324% Line 5 Fault 0.4297%	**Busbar C Fault 59.11%** Busbar D Fault 24.1% Transformer 1 Fault 2.363%	**Busbar D Fault 6.075%** Busbar C Fault 4.317% Line 9 Fault 1.805%	**Line 2 Fault 8.432%** Busbar D Fault 6.751% Line 8 Fault 1.213%
157. CB16	**Transformer 2 Fault 82.69%** Line 4 Fault 10.18% Busbar B Fault 1.964%	**Transformer 1 Fault 2.011%** Line 9 Fault 1.962% Transformer 4 Fault 1.637%	**Busbar D Fault 12.37%** Line 6 Fault 2.214% Transformer 2 Fault 0.5568%	**Transformer 2 Fault 47.59%** Busbar D Fault 4.11% Line 5 Fault 3.596%
158. TMR1	**Line 4 Fault 85.78%** Transformer 1 Fault 0.4596% Transformer 4 Fault 0.3205%	**Transformer 1 Fault 66.45%** Line 4 Fault 5.847% Line 7 Fault 0.7946%	**Transformer 1 Fault 37.42%** Line 8 Fault 8.427% Line 9 Fault 2.601%	**Transformer 1 Fault 60.39%** Line 7 Fault 17.87% Line 3 Fault 6.377%
159. CB15	**Line 3 Fault 76.12%** Busbar A Fault 1.745% Line 4 Fault 0.6015%	**Line 3 Fault 86.57%** Busbar C Fault 10.43% Line 4 Fault 8.423%	**Line 3 Fault 77.49%** Busbar B Fault 3.925% Busbar C Fault 2.707%	**Line 3 Fault 86.53%** Line 8 Fault 1.467% Line 6 Fault 1.39%

160. TMR2	**Transformer 2 Fault 74.07%** Line 4 Fault 3.345% Busbar F Fault 0.9396%	**Transformer 2 Fault 40.08%** Line 4 Fault 34.49% Line 7 Fault 12.85%	**Line 4 Fault 1.269%** Transformer 2 Fault 1.159% Transformer 4 Fault 1.079%	**Line 7 Fault 19.73%** Transformer 2 Fault 17.49% Line 8 Fault 2.3%
161. CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.06%** Busbar D Fault 5.566% Line 3 Fault 0.1418%	**Busbar C Fault 96.5%** Busbar D Fault 2.805% Line 3 Fault 0.9469%	**Busbar C Fault 69.04%** Busbar D Fault 1.929% Line 5 Fault 0.4513%	**Line 8 Fault 28.75%** Busbar C Fault 4.155% Line 5 Fault 1.954%
162. CB15 , BMRC	**Busbar C Fault 91.23%** Line 3 Fault 10.78% Busbar A Fault 0.2708%	**Busbar C Fault 90.35%** Line 3 Fault 30.97% Line 4 Fault 4.686%	**Busbar C Fault 40.2%** Line 3 Fault 29.41% Busbar B Fault 15.6%	**Line 3 Fault 45.86%** Line 8 Fault 6.148% Busbar C Fault 5.968%
163. CB15 , CB19	**Busbar C Fault 85.33%** Busbar D Fault 4.921% Line 3 Fault 2.736%	**Busbar C Fault 81.67%** Line 3 Fault 36.13% Busbar D Fault 3.609%	**Busbar C Fault 64.97%** Line 3 Fault 6.296% Line 9 Fault 2.463%	**Line 8 Fault 18.21%** Line 3 Fault 13.69% Busbar C Fault 2.219%
164. CB13 , BMRC	**Busbar C Fault 96.19%** Transformer 1 Fault 5.249% Line 4 Fault 0.3317%	**Busbar C Fault 96.37%** Transformer 1 Fault 6.449% Line 4 Fault 3.527%	**Busbar C Fault 82.54%** Line 2 Fault 2.509% Transformer 1 Fault 1.44%	**Line 1 Fault 36.45%** Busbar C Fault 24.71% Busbar A Fault 1.443%
165. CB13 , CB19	**Busbar C Fault 97.47%** Busbar D Fault 2.474% Line 5 Fault 0.09432%	**Busbar C Fault 93.71%** Transformer 1 Fault 6.457% Busbar D Fault 4.386%	**Busbar C Fault 23.94%** Busbar D Fault 7.24% Transformer 1 Fault 5.931%	**Busbar A Fault 65.6%** Line 1 Fault 4.21% Line 8 Fault 1.719%
166. CB13 , CB14	**Busbar C Fault 52.05%** Transformer 3 Fault 16.01% Transformer 1 Fault 6.681%	**Busbar C Fault 76.9%** Transformer 1 Fault 47.71% Line 4 Fault 4.531%	**Busbar C Fault 81.18%** Line 2 Fault 2.712% Busbar B Fault 1.934%	**Busbar C Fault 74.26%** Transformer 3 Fault 11.76% Line 1 Fault 10.1%
167. CB14 , BMRC	**Busbar C Fault 79.25%** Transformer 3 Fault 19.11% Line 3 Fault 0.1445%	**Busbar C Fault 90.98%** Transformer 1 Fault 10.81% Line 4 Fault 5.233%	**Busbar C Fault 55.64%** Busbar B Fault 7.436% Line 2 Fault 2.77%	**Line 9 Fault 60.58%** Busbar C Fault 35.58% Transformer 3 Fault 5.298%

168. CB14 , CB15	**Transformer 3 Fault 36.15%**	**Busbar C Fault 63.16%**	**Busbar B Fault 36.08%**	**Line 9 Fault 66.17%**
	Busbar C Fault 10.16%	Line 3 Fault 11.26%	Line 3 Fault 25.83%	Busbar C Fault 52.44%
	Line 3 Fault 4.268%	Line 4 Fault 6.699%	Busbar C Fault 22.11%	Line 6 Fault 6.719%
169. CB14 , CB19	**Busbar C Fault 92.58%**	**Busbar C Fault 91.88%**	**Busbar C Fault 77.42%**	**Transformer 3 Fault 47.27%**
	Busbar D Fault 0.6101%	Transformer 1 Fault 6.687%	Line 9 Fault 0.7895%	Line 9 Fault 16.73%
	Transformer 3 Fault 0.5876%	Busbar D Fault 2.13%	Busbar D Fault 0.6165%	Busbar C Fault 16.31%
170. CB13 , CB15	**Busbar C Fault 43.9%**	**Busbar C Fault 89.47%**	**Busbar C Fault 70.05%**	**Line 3 Fault 33.84%**
	Transformer 1 Fault 8.381%	Line 3 Fault 29.73%	Line 3 Fault 20.88%	Line 1 Fault 24.63%
	Line 3 Fault 7.001%	Line 4 Fault 5.397%	Transformer 1 Fault 11.07%	Transformer 1 Fault 7.177%
171. CB23 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.38%**	**Busbar E Fault 64.94%**	**Busbar E Fault 90.95%**	**Busbar E Fault 92.02%**
	Line 4 Fault 0.1747%	Line 6 Fault 2.892%	Line 5 Fault 6.03%	Line 6 Fault 6.013%
	Line 6 Fault 0.1423%	Busbar B Fault 2.31%	Line 6 Fault 4.577%	Line 1 Fault 3.434%
172. CB22, CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.71%**	**Busbar E Fault 64.93%**	**Busbar E Fault 82.7%**	**Busbar E Fault 94.44%**
	Line 4 Fault 0.2543%	Line 1 Fault 1.683%	Transformer 3 Fault 5.811%	Line 5 Fault 2.73%
	Line 5 Fault 0.08346%	Transformer 4 Fault 1.324%	Line 5 Fault 5.006%	Line 8 Fault 1.435%
173. CB22 , CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 88.89%**	**Busbar E Fault 76.16%**	**Line 5 Fault 38.97%**	**Busbar E Fault 59.22%**
	Line 5 Fault 6.317%	Line 6 Fault 48.87%	Busbar B Fault 33%	Line 5 Fault 15.04%
	Line 6 Fault 0.1823%	Line 5 Fault 0.4227%	Line 6 Fault 28.52%	Line 6 Fault 8.918%
174. CB22 , CB23 , CB24	**Busbar E Fault 97.56%**	**Busbar E Fault 53.96%**	**Line 5 Fault 55.39%**	**Busbar E Fault 83.05%**
	Line 5 Fault 0.8851%	Line 1 Fault 4.227%	Busbar B Fault 39.29%	Line 5 Fault 8.811%
	Line 6 Fault 0.145%	Line 6 Fault 1.2%	Line 6 Fault 22.96%	Line 6 Fault 6.764%
175. CB21 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.67%**	**Busbar E Fault 17.85%**	**Busbar E Fault 72.18%**	**Busbar E Fault 34.87%**
	Line 4 Fault 8.561%	Transformer 3 Fault 8.061%	Line 4 Fault 8.382%	Line 4 Fault 16.3%
	Transformer 3 Fault 1.001%	Transformer 4 Fault 3.936%	Transformer 4 Fault 4.691%	Transformer 3 Fault 14.62%

176. CB21 , CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 97.65%**	**Line 6 Fault 91.66%**	**Busbar E Fault 69.63%**	**Busbar E Fault 26.36%**
	Line 4 Fault 4.385%	Busbar B Fault 5.079%	Line 6 Fault 6.375%	Line 6 Fault 25.3%
	Line 6 Fault 0.2452%	Busbar B Fault 2.874%	Line 5 Fault 1.706%	Line 1 Fault 20.63%
177. CB21 , CB23 , CB24	**Busbar E Fault 99.2%**	**Line 6 Fault 25.03%**	**Busbar E Fault 80.92%**	**Line 4 Fault 50.21%**
	Line 4 Fault 1.865%	Busbar B Fault 9.605%	Line 5 Fault 6.347%	Transformer 3 Fault 13.63%
	Transformer 3 Fault 0.1452%	Line 4 Fault 1.205%	Line 6 Fault 6.158%	Busbar B Fault 11.06%
178. CB21 , CB22 , BMRE	**Busbar E Fault 98.53%**	**Line 5 Fault 34.11%**	**Busbar E Fault 80.03%**	**Busbar E Fault 87.79%**
	Line 4 Fault 2.19%	Busbar B Fault 18.01%	Line 4 Fault 4.389%	Line 6 Fault 1.508%
	Line 5 Fault 0.8677%	Busbar D Fault 0.2187%	Line 3 Fault 4.34%	Line 8 Fault 0.9873%
179. CB21 , CB22 ,CB24	**Busbar E Fault 99.26%**	**Line 5 Fault 9.039%**	**Busbar E Fault 72.11%**	**Busbar E Fault 76.51%**
	Line 4 Fault 1.813%	Busbar B Fault 8.782%	Transformer 3 Fault 7.962%	Transformer 3 Fault 32.68%
	Line 5 Fault 0.3086%	Line 1 Fault 2.013%	Line 5 Fault 6.464%	Line 2 Fault 7.491%
180. CB21 , CB22 , CB23	**Busbar E Fault 80.34%**	**Line 6 Fault 89.33%**	**Line 6 Fault 37.14%**	**Line 6 Fault 59.77%**
	Line 5 Fault 17.78%	Line 5 Fault 5.784%	Line 5 Fault 24.49%	Busbar B Fault 47.2%
	Line 4 Fault 1.168%	Busbar B Fault 5.061%	Busbar B Fault 24.21%	Line 5 Fault 1.678%
181. CB20 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.11%**	**Busbar E Fault 80.26%**	**Busbar E Fault 76.2%**	**Busbar E Fault 88.3%**
	Busbar F Fault 4.929%	Busbar B Fault 1.57%	Busbar F Fault 21.48%	Line 8 Fault 2.221%
	Line 4 Fault 0.3812%	Busbar A Fault 1.338%	Transformer 4 Fault 3.097%	Transformer 3 Fault 1.308%
182. CB20 , CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 97.8%**	**Busbar E Fault 78.13%**	**Busbar E Fault 89.1%**	**Busbar E Fault 80.78%**
	Busbar F Fault 0.3106%	Line 6 Fault 53.29%	Line 6 Fault 6.186%	Line 6 Fault 4.892%
	Line 4 Fault 0.1034%	Busbar F Fault 4.205%	Line 8 Fault 3.354%	Line 1 Fault 1.761%
183. CB20 , CB23 , CB24	**Busbar E Fault 99.16%**	**Busbar E Fault 80.35%**	**Busbar E Fault 93.31%**	**Busbar E Fault 90.64%**
	Busbar F Fault 1.746%	Line 6 Fault 4.256%	Line 6 Fault 4.379%	Transformer 3 Fault 5.175%
	Transformer 3 Fault 0.0854%	Busbar A Fault 3.04%	Line 8 Fault 1.911%	Line 6 Fault 1.185%

184. CB20 , CB22 , BMRE	**Busbar E Fault 97.18%**	**Busbar E Fault 94.39%**	**Busbar E Fault 90.53%**	**Line 8 Fault 50.74%**
	Line 5 Fault 0.366%	Busbar D Fault 1.488%	Line 3 Fault 4.573%	Line 5 Fault 34.29%
	Busbar F Fault 0.1128%	Busbar F Fault 0.7329%	Busbar F Fault 1.97%	Busbar B Fault 7.713%
185. CB20 , CB22 , CB24	**Busbar E Fault 99.29%**	**Busbar E Fault 80.45%**	**Busbar E Fault 89.52%**	**Busbar E Fault 49.61%**
	Busbar F Fault 0.4853%	Line 1 Fault 5.62%	Transformer 3 Fault 3.973%	Line 5 Fault 19.56%
	Line 5 Fault 0.07275%	Transformer 4 Fault 0.4358%	Line 3 Fault 2.194%	Line 8 Fault 2.538%
186. CB20 , CB22 , CB23	**Busbar E Fault 89.07%**	**Busbar E Fault 89.89%**	**Busbar E Fault 64.42%**	**Line 5 Fault 65.37%**
	Line 5 Fault 3.262%	Line 6 Fault 43.59%	Line 6 Fault 31.44%	Busbar B Fault 17.2%
	Busbar A Fault 0.06653%	Busbar A Fault 0.5848%	Line 5 Fault 6.987%	Line 6 Fault 2.592%
187. CB20 , CB21 , BMRE	**Busbar E Fault 99.11%**	**Busbar E Fault 50.51%**	**Busbar E Fault 45.99%**	**Busbar E Fault 71.19%**
	Line 4 Fault 3.021%	Busbar F Fault 4.056%	Busbar F Fault 13.08%	Line 1 Fault 7.664%
	Busbar F Fault 0.7949%	Busbar B Fault 2.046%	Line 4 Fault 10.34%	Line 7 Fault 1.321%
188. CB20 , CB21 , CB24	**Busbar E Fault 99.36%**	**Busbar E Fault 44.19%**	**Busbar E Fault 74.98%**	**Transformer 3 Fault 54.955**
	Busbar F Fault 4.005%	Transformer 3 Fault 2.142%	Busbar F Fault 5.268%	Busbar B Fault 36.15%
	Line 4 Fault 1.326%	Busbar A Fault 1.352%	Line 4 Fault 5.067%	Line 2 Fault 4.253%
189. CB20 , CB21 , CB23	**Busbar E Fault 98.05%**	**Line 6 Fault 94.75%**	**Busbar E Fault 72.2%**	**Busbar E Fault 61.79%**
	Line 4 Fault 0.6177%	Busbar B Fault 24.36%	Line 6 Fault 6.016%	Line 6 Fault 23.9%
	Busbar F Fault 0.3474%	Busbar F Fault 1.077%	Line 8 Fault 2.189%	Line 1 Fault 9.333%
190. CB20 , CB21 , CB22	**Busbar E Fault 96.94%**	**Busbar E Fault 62.75%**	**Busbar E Fault 88.26%**	**Busbar E Fault 77.02%**
	Line 5 Fault 0.6262%	Line 5 Fault 2.349%	Line 4 Fault 3.752%	Line 5 Fault 9.561%
	Line 4 Fault 0.2197%	Line 6 Fault 0.956%	Line 3 Fault 2.058%	Line 8 Fault 3.285%
191. CB27 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 97.07%**	**Busbar F Fault 46.1%**	**Busbar F Fault 58.98%**	**Line 9 Fault 55.89%**
	Busbar B Fault 2.116%	Transformer 4 Fault 12.69%	Line 9 Fault 6.653%	Busbar F Fault 23.95%
	Transformer 4 Fault 0.3088%	Busbar A Fault 6.504%	Transformer 4 Fault 4.422%	Line 3 Fault 3.737%

192. CB26 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 90.35%**	**Busbar F Fault 70.95%**	**Line 8 Fault 39.4%**	**Busbar F Fault 86.59%**
	Line 9 Fault 1.339%	Line 9 Fault 20.88%	Line 9 Fault 22.13%	Line 9 Fault 10.05%
	Busbar E Fault 1.203%	Line 8 Fault 6.273%	Busbar F Fault 21.56%	Line 3 Fault 2.03%
193. CB26 , CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 96.77%**	**Busbar F Fault 83.14%**	**Busbar F Fault 87.84%**	**Busbar F Fault 92.02%**
	Transformer 4 Fault 0.6763%	Transformer 4 Fault 3.415%	Line 8 Fault 1.921%	Line 3 Fault 3.334%
	Busbar E Fault 0.4794%	Line 8 Fault 0.7445%	Transformer 4 Fault 1.874%	Busbar C Fault 2.381%
194. CB26 , CB27 , CB28	**Busbar F Fault 67.82%**	**Busbar F Fault 67.23%**	**Busbar F Fault 79.98%**	**Busbar F Fault 72.64%**
	Line 9 Fault 5.096%	Line 9 Fault 15.32%	Line 8 Fault 3.599%	Line 9 Fault 20.46%
	Transformer 4 Fault 1.144%	Transformer 4 Fault 2.281%	Transformer 4 Fault 1.311%	Busbar D Fault 5.368%
195. CB25 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 99.66%**	**Line 9 Fault 51.73%**	**Line 9 Fault 28.01%**	**Busbar F Fault 42.81%**
	Line 7 Fault 0.1848%	Busbar F Fault 21.79%	Busbar F Fault 11.53%	Line 3 Fault 15.11%
	Transformer 4 Fault 0.1069%	Line 7 Fault 11.05%	Line 8 Fault 7.772%	Line 5 Fault 3.586%
196. CB25 , CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 99.63%**	**Transformer 4 Fault 16.12%**	**Busbar F Fault 40.98%**	**Line 3 Fault 34.78%**
	Line 7 Fault 5.411%	Busbar F Fault 15.13%	Transformer 4 Fault 4.408%	Busbar F Fault 10.51%
	Transformer 4 Fault 1.287%	Line 7 Fault 4.038%	Busbar A Fault 3.63%	Transformer 1 Fault 1.854%
197. CB25 , CB27 , CB28	**Busbar F Fault 98.93%**	**Line 9 Fault 58.91%**	**Busbar F Fault 48.49%**	**Busbar F Fault 36.46%**
	Transformer 4 Fault 1.117%	Transformer 4 Fault 11.73%	Transformer 4 Fault 3.513%	Line 3 Fault 28.635%
	Line 7 Fault 0.2398%	Line 7 Fault 9.158%	Line 9 Fault 2.869%	Line 9 Fault 6.388%
198. CB25 , CB26 , BMRF	**Busbar F Fault 97.94%**	**Line 8 Fault 70.99%**	**Line 8 Fault 50.98%**	**Line 8 Fault 47.55%**
	Line 7 Fault 9.508%	Busbar F Fault 24.71%	Busbar F Fault 34.6%	Transformer 2 Fault 18.79%
	Transformer 4 Fault 0.2708%	Line 9 Fault 6.561%	Line 7 Fault 4.799%	Busbar F Fault 9.358%
199. CB25 , CB26 , CB28	**Busbar F Fault 92.37%**	**Line 8 Fault 67.98%**	**Line 8 Fault 49.75%**	**Busbar F Fault 61.32%**
	Line 9 Fault 0.63%	Line 9 Fault 58.61%	Busbar F Fault 18.66%	Line 8 Fault 28.06%
	Line 7 Fault 0.2779%	Busbar F Fault 21.63%	Line 9 Fault 4.665%	Transformer 2 Fault 11.19%

200. CB25 , CB26 , CB27	**Busbar F Fault 90.08%** Line 7 Fault 22.28% Transformer 4 Fault 2.127%	**Line 8 Fault 37.11%** Busbar F Fault 22.18% Line 9 Fault 10.95%	**Busbar F Fault 69.6%** Line 8 Fault 3.684% Transformer 4 Fault 1.21%	**Line 8 Fault 16.84%** Busbar F Fault 13.93% Transformer 2 Fault 5.688%
201. CB20 , CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 97.72%** Busbar E Fault 8.637% Line 9 Fault 0.05487%	**Busbar F Fault 85.68%** Busbar A Fault 5.785% Busbar E Fault 5.677%	**Busbar F Fault 69.09%** Line 9 Fault 9.931% Line 8 Fault 3.498%	**Busbar F Fault 68.55%** Line 9 Fault 30.83% Line 5 Fault 1.834%
202. CB20 , CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 98.62%** Busbar E Fault 10.16% Transformer 4 Fault 0.1032%	**Busbar F Fault 76.55%** Busbar E Fault 14.07% Busbar A Fault 4.888%	**Busbar F Fault 94.65%** Transformer 4 Fault 8.08% Line 4 Fault 1.451%	**Busbar F Fault 84.41%** Line 9 Fault 3.221% Busbar C Fault 2.04%
203. CB20 , CB27 , CB28	**Busbar F Fault 91.89%** Busbar E Fault 7.278% Transformer 4 Fault 0.2632%	**Busbar F Fault 57.41%** Busbar A Fault 4.99% Transformer 4 Fault 4.37%	**Busbar F Fault 87.97%** Transformer 4 Fault 5.615% Busbar E Fault 4.932%	**Line 9 Fault 48.06%** Busbar F Fault 41.33% Busbar D Fault 3.349%
204. CB20 , CB26 , BMRF	**Busbar F Fault 98.33%** Busbar E Fault 3.259% Transformer 4 Fault 0.0612%	**Busbar F Fault 90.92%** Busbar E Fault 2.094% Busbar D Fault 1.489%	**Busbar F Fault 88.98%** Line 8 Fault 5.359% Line 1 Fault 3.41%	**Busbar F Fault 90.97%** Line 8 Fault 7.13% Transformer 2 Fault 1.586%
205. CB20 , CB26 , CB28	**Busbar F Fault 86.25%** Busbar E Fault 2.666% Line 9 Fault 1.548%	**Busbar F Fault 87.14%** Line 9 Fault 7.443% Line 8 Fault 2.117%	**Busbar F Fault 66.3%** Line 8 Fault 6.201% Busbar E Fault 3.644%	**Busbar F Fault 88.42%** Line 9 Fault 2.694% Line 8 Fault 2.327%
206. CB20 , CB26 ,CB27	**Busbar F Fault 93.52%** Busbar E Fault 2.269% Tranaformer 4 Fault 0.4589%	**Busbar F Fault 94.13%** Busbar E Fault 1.086% Transformer 4 Fault 0.7061%	**Busbar F Fault 92.15%** Line 1 Fault 3.469% Transformer 4 Fault 3.188%	**Busbar F Fault 92.76%** Line 8 Fault 1.642% Busbar C Fault 1.485%
207. CB20 , CB25 , BMRF	**Busbar F Fault 99.82%** Line 7 Fault 0.4701% Busbar E Fault 0.1402%	**Busbar F Fault 61.91%** Busbar E Fault 1.922% Line 6 Fault 1.295%	**Busbar F Fault 87.62%** Line 8 Fault 3.997% Line 7 Fault 0.8417%	**Busbar F Fault 21.62%** Transformer 2 Fault 10.71% Line 8 Fault 7.718%

208. CB20, CB25 , CB28	**Busbar F Fault 99.67%** Busbar E Fault 0.2233% Transformer 4 Fault 0.1553%	**Busbar F Fault 41.75%** Line 9 Fault 30.83% Line 6 Fault 2.122%	**Busbar F Fault 78.14%** Line 8 Fault 3.874% Line 9 Fault 3.088%	**Busbar F Fault 69.93%** Line 5 Fault 12.44% Transformer 2 Fault 4.022%
209. CB20 , CB25 , CB27	**Busbar F Fault 99.65%** Line 7 Fault 1.397% Transformer 4 Fault 0.905%	**Busbar F Fault 47.12%** Transformer 4 Fault 3.065% Busbar E Fault 0.9764%	**Busbar F Fault 91.94%** Transformer 4 Fault 6.291% Line 1 Fault 0.8314%	**Busbar F Fault 22.37%** Line 3 Fault 3.029% Transformer 1 Fault 0.6637%
210. CB20 , CB25 , CB26	**Busbar F Fault 99.05%** Line 7 Fault 1.407% Transformer 4 Fault 0.2806%	**Line 8 Fault 50.68%** Busbar F Fault 45.77% Line 9 Fault 2.925%	**Busbar F Fault 86.27%** Line 8 Fault 10.02% Line 1 Fault 1.877%	**Line 8 Fault 74.99%** Transformer 2 Fault 29.26% Busbar F Fault 6.765%
211. CB13	**Line 4 Fault 24%** Transformer 1 Fault 21.78% Line 3 Fault 0.4982%	**Busbar C Fault 56.13%** Transformer 1 Fault 48.14% Line 4 Fault 4.725%	**Transformer 1 Fault 21.22%** Busbar C Fault 9.896% Line 9 Fault 1.238%	**Line 1 Fault 48.92%** Transformer 1 Fault 11.25% Busbar A Fault 6.168%
212. CB15	**Line 3 Fault 76.12%** Busbar A Fault 1.745% Line 4 Fault 0.6015%	**Line 3 Fault 86.57%** Busbar C Fault 10.43% Line 4 Fault 8.423%	**Line 3 Fault 77.49%** Busbar B Fault 3.925% Busbar C Fault 2.707%	**Line 3 Fault 86.53%** Line 8 Fault 1.467% Line 6 Fault 1.39%
213. BMRC	**Line 3 Fault 1.818%** Line 4 Fault 1.722% Busbar C Fault 1.391%	**Busbar C Fault 84.5%** Line 4 Fault 8.029% Transformer 1 Fault 4.474%	**Busbar C Fault 12.19%** Line 2 Fault 7.228% Busbar B Fault 1.22%	**Line 3 Fault 3.275%** Line 6 Fault 2.957% Line 5 Fault 2.257%
214. CB20 , CB21	**Busbar E Fault 96.12%** Line 4 Fault 4.061% Busbar F Fault 2.601%	**Line 6 Fault 4.652%** Busbar E Fault 4.648% Busbar B Fault 2.77%	**Line 4 Fault 22.3%** Busbar E Fault 11.63% Line 1 Fault 4.138%	**Busbar E Fault 11.98%** Line 4 Fault 6.981% Line 1 Fault 3.218%
215. CB20 , CB22	**Busbar E Fault 72.73%** Line 5 Fault 8.012% Line 4 Fault 0.07321%	**Busbar E Fault 62.24%** Line 5 Fault 4.506% Line 1 Fault 1.172%	**Busbar E Fault 61.83%** Line 1 Fault 1.857% Line 3 Fault 1.794%	**Line 5 Fault 78.86%** Line 8 Fault 14.88% Transformer 2 Fault 4.869%

216. CB20 , CB23	**Busbar E Fault 78.25%**	**Line 6 Fault 90.25%**	**Line 6 Fault 52.7%**	**Line 6 Fault 37.78%**
	Line 6 Fault 1.295%	Busbar B Fault 37.07%	Line 8 Fault 20.54%	Busbar B Fault 29.73%
	Busbar F Fault 0.7957%	Busbar A Fault 3.228%	Busbar B Fault 19.82%	Line 5 Fault 3.798%
217. CB20 , CB24	**Busbar E Fault 95.01%**	**Busbar E Fault 25.27%**	**Busbar E Fault 63.68%**	**Busbar E Fault 25.45%**
	Busbar F Fault 18.94%	Transformer 3 Fault 6.097%	Busbar F Fault 11.23%	Transformer 3 Fault 25.38%
	Transformer 3 Fault 0.9823%	Busbar A Fault 2.421%	Line 1 Fault 4.293%	Line 2 Fault 1.188%
218. CB20 , BMRE	**Busbar E Fault 92.59%**	**Busbar E Fault 54.63%**	**Busbar E Fault 41.65%**	**Line 8 Fault 46.45%**
	Busbar F Fault 2.229%	Busbar F Fault 6.649%	Busbar F Fault 24.18%	Busbar B Fault 11.31%
	Line 4 Fault 0.7475%	Busbar A Fault 2.51%	Line 1 Fault 4.929%	Line 5 Fault 0.7964%
219. CB21 , CB22	**Busbar E Fault 56.42%**	**Line 5 Fault 83.9%**	**Line 5 Fault 26.93%**	**Busbar E Fault 33.5%**
	Line 5 Fault 45.99%	Line 4 Fault 5.259%	Busbar B Fault 9.624%	Line 6 Fault 7.15%
	Line 4 Fault 12.58%	Transformer 1 Fault 1.195%	Line 4 Fault 5.537%	Line 5 Fault 5.505%
220. CB21 , CB23	**Busbar E Fault 63.59%**	**Line 6 Fault 97.27%**	**Line 6 Fault 47.66%**	**Line 4 Fault 39.19%**
	Line 4 Fault 20.97%	Line 4 Fault 7.982%	Busbar B Fault 2.189%	Line 6 Fault 29.23%
	Line 6 Fault 5.67%	Busbar B Fault 1.053%	Transformer 2 Fault 1.432%	Line 1 Fault 3.852%
221. CB21 , CB24	**Busbar E Fault 95.61%**	**Transformer 3 Fault 24.58%**	**Busbar E Fault 26.33%**	**Line 4 Fault 74.95%**
	Line 4 Fault 27.71%	Transformer 1 Fault 3.838%	Line 4 Fault 18.02%	Transformer 3 Fault 36.77%
	Transformer 3 Fault 7.36%	Transformer 4 Fault 2.273%	Transformer 3 Fault 7.204%	Line 2 Fault 4.945%
222. CB21 , BMRE	**Busbar E Fault 94.69%**	**Busbar B Fault 12.12%**	**Line 4 Fault 36.24%**	**Line 4 Fault 35.64%**
	Line 4 Fault 52.75%	Line 4 Fault 3.493%	Busbar B Fault 11.55%	Line 1 Fault 18.94%
	Transformer 4 Fault 0.3802%	Transformer 2 Fault 1.56%	Line 3 Fault 2.112%	Busbar B Fault 10.25%
223. CB22 , CB23	**Line 5 Fault 75.08%**	**Line 6 Fault 75.16%**	**Line 6 Fault 73.72%**	**Line 5 Fault 55.73%**
	Busbar B Fault 27.35%	Busbar B Fault 14.08%	Line 5 Fault 39.96%	Line 6 Fault 33.3%
	Line 6 Fault 0.6387%	Line 5 Fault 8.99%	Line 8 Fault 1.015%	Busbar B Fault 7.233%

224. CB22 , CB24	**Busbar E Fault 93.93%** Line 5 Fault 2.707% Line 4 Fault 1.356%	**Busbar E Fault 11.21%** Line 5 Fault 4.813% Line 1 Fault 3.988%	**Line 5 Fault 44.87%** Busbar B Fault 16.86% Transformer 3 Fault 13.58%	**Busbar E Fault 52.85%** Line 5 Fault 19.43% Line 2 Fault 5.4%
225. CB22 , BMRE	**Busbar E Fault 78.44%** Line 5 Fault 19.55% Busbar D Fault 1.356%	**Line 5 Fault 48.95%** Busbar B Fault 23.69% Busbar D Fault 0.9811%	**Line 5 Fault 33.36%** Busbar B Fault 26.97% Line 3 Fault 5.221%	**Line 5 Fault 45.17%** Busbar B Fault 17.53% Line 8 Fault 11.31%
226. CB23 , CB24	**Busbar E Fault 88.5%** Line 6 Fault 2.716% Line 4 Fault 0.7438%	**Line 6 Fault 9.44%** Busbar B Fault 7.995% Transformer 1 Fault 1.719%	**Line 6 Fault 40.02%** Busbar B Fault 25.62% Line 5 Fault 15.03%	**Busbar E Fault 46.04%** Transformer 3 Fault 12.7% Line 6 Fault 12.34%
227. CB23 , BMRE	**Busbar E Fault 54.97%** Line 6 Fault 18.31% Line 4 Fault 1.367%	**Line 6 Fault 89.66%** Busbar B Fault 11.7% Busbar B Fault 1.828%	**Line 6 Fault 47.1%** Busbar B Fault 10.92% Line 8 Fault 5.133%	**Line 6 Fault 67.6%** Busbar B Fault 42.12% Line 1 Fault 6.013%
228. CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 95.99%** Line 4 Fault 3.567% Transformer 3 Fault 3.488%	**Transformer 3 Fault 22.99%** Busbar B Fault 12.69% Transformer 4 Fault 4.212%	**Busbar E Fault 56.12%** Transformer 3 Fault 9.009% Line 3 Fault 2.848%	**Busbar E Fault 78.18%** Transformer 3 Fault 6.47% Line 2 Fault 1.861%
229. CB20 , CB25	**Busbar F Fault 98.85%** Line 7 Fault 2.741% Transformer 4 Fault 0.5268%	**Line 7 Fault 4.563%** Line 9 Fault 3.825% Busbar F Fault 2.385%	**Busbar F Fault 50.09%** Line 8 Fault 3.78% Line 7 Fault 2.683%	**Transformer 2 Fault 14.79%** Line 8 Fault 10.39% Line 7 Fault 4.104%
230. CB20 , CB26	**Busbar F Fault 56.53%** Busbar E Fault 2.542% Transformer 4 Fault 0.2395%	**Busbar F Fault 39.16%** Line 8 Fault 23.01% Busbar D Fault 1.451%	**Busbar F Fault 38.91%** Line 1 Fault 12.12% Line 8 Fault 9.309%	**Line 8 Fault 67.78%** Busbar F Fault 28.39% Transformer 2 Fault 4.992%
231. CB20 , CB27	**Busbar F Fault 66.99%** Busbar E Fault 24.74% Transformer 4 Fault 0.5321%	**Busbar F Fault 14.1%** Transformer 4 Fault 8.659% Busbar B Fault 6.223%	**Busbar F Fault 71.24%** Transformer 4 Fault 12.19% Line 1 Fault 2.799%	**Busbar F Fault 28.3%** Line 9 Fault 2.837% Transformer 4 Fault 1.426%

232. CB20 , CB28	**Busbar F Fault 67.26%**	**Busbar F Fault 34.45%**	**Busbar F Fault 21.06%**	**Line 9 Fault 55.27%**
	Busbar E Fault 14.02%	Line 9 Fault 22.96%	Line 9 Fault 16.05%	Busbar F Fault 24.78%
	Line 9 Fault 1.583%	Busbar A Fault 7.672%	Busbar E Fault 3.905%	Busbar D Fault 2.99%
233. CB20 , BMRF	**Busbar F Fault 94.51%**	**Busbar F Fault 35.52%**	**Busbar F Fault 72.38%**	**Busbar F Fault 65.16%**
	Busbar E Fault 23.14%	Busbar E Fault 21.16%	Line 1 Fault 3.221%	Line 5 Fault 2.048%
	Transformer 4 Fault 0.0505%	Busbar A Fault 8.016%	Line 8 Fault 2.002%	Line 3 Fault 1.279%
234. CB25 , CB26	**Line 7 Fault 34.46%**	**Line 8 Fault 93%**	**Line 8 Fault 79.24%**	**Line 8 Fault 57.43%**
	Busbar F Fault 12.55%	Line 7 Fault 17.76%	Line 7 Fault 21.52%	Transformer 2 Fault 23.35%
	Line 8 Fault 0.323%	Line 9 Fault 8.185%	Busbar F Fault 4.347%	Line 7 Fault 9.343%
235. CB25 , CB27	**Busbar F Fault 82.52%**	**Line 7 Fault 42.99%**	**Transformer 4 Fault 10.94%**	**Line 3 Fault 12.3%**
	Line 7 Fault 45.07%	Transformer 4 Fault 14.32%	Busbar F Fault 6.783%	Line 7 Fault 3.748%
	Transformer 4 Fault 12.19%	Line 9 Fault 12.66%	Line 7 Fault 6.214%	Transformer 1 Fault 3.182%
236. CB25 , CB28	**Busbar F Fault 90.2%**	**Line 9 Fault 88.1%**	**Line 9 Fault 35.3%**	**Line 3 Fault 21.7%**
	Line 9 Fault 1.181%	Line 7 Fault 53.41%	Line 7 Fault 8.489%	Line 5 Fault 13.22%
	Line 7 Fault 0.5845%	Line 8 Fault 1.486%	Line 8 Fault 7.357%	Line 8 Fault 1.023%
237. CB25 , BMRF	**Busbar F Fault 96.56%**	**Line 7 Fault 47.63%**	**Line 7 Fault 30.18%**	**Line 7 Fault 23.57%**
	Line 7 Fault 19.45%	Line 9 Fault 5.67%	Line 8 Fault 8.575%	Line 3 Fault 17.9%
	Transformer 4 Fault 0.4053%	Line 8 Fault 1.618%	Busbar F Fault 2.744%	Transformer 2 Fault 1.402%
238. CB26 , CB27	**Transformer 4 Fault 10.75%**	**Busbar F Fault 18.88%**	**Busbar F Fault 41.25%**	**Busbar F Fault 52.21%**
	Busbar F Fault 7.89%	Line 8 Fault 18.54%	Line 1 Fault 4.583%	Busbar D Fault 2.878%
	Line 8 Fault 0.152%	Transformer 4 Fault 4.224%	Line 8 Fault 2.36%	Line 3 Fault 2.817%
239. CB26 , CB28	**Line 9 Fault 60.32%**	**Line 9 Fault 75.86%**	**Line 8 Fault 59.45%**	**Busbar F Fault 36.77%**
	Busbar F Fault 8.708%	Line 8 Fault 59.3%	Line 9 Fault 31.75%	Line 9 Fault 17.72%
	Transformer 4 Fault 0.285%	Busbar F Fault 15.17%	Busbar F Fault 3.97%	Busbar D Fault 3.736%

240. CB26 , BMRF	**Busbar F Fault 44.67%** Transformer 4 Fault 0.2075% Line 4 Fault 0.1577%	**Line 8 Fault 61.04%** Busbar F Fault 11.9% Line 9 Fault 2.811%	**Line 8 Fault 72.37%** Busbar F Fault 18.44% Transformer 1 Fault 2.225%	**Busbar F Fault 58.7%** Line 8 Fault 14.28% Line 3 Fault 2.236%
241. CB27 , CB28	**Busbar F Fault 42.04%** Line 9 Fault 7.288% Transformer 4 Fault 3.023%	**Line 9 Fault 45.31%** Transformer 4 Fault 28.65% Busbar A Fault 5.375%	**Line 9 Fault 12.82%** Busbar F Fault 10.65% Transformer 4 Fault 10.17%	**Line 9 Fault 74.72%** Transformer 4 Fault 8.794% Busbar F Fault 5.966%
242. CB27 , BMRF	**Busbar F Fault 90.99%** Busbar B Fault 2.332% Transformer 4 Fault 1.754%	**Transformer 4 Fault 48.25%** Busbar A Fault 5.358% Busbar F Fault 2.942%	**Busbar F Fault 29.23%** Transformer 4 Fault 11.91% Busbar A Fault 1.535%	**Transformer 4 Fault 31.8%** Line 3 Fault 9.224% Line 9 Fault 9.084%
243. CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 77.63%** Busbar B Fault 3.836% Line 9 Fault 1.773%	**Line 9 Fault 57.76%** Busbar F Fault 16.66% Busbar A Fault 11.87%	**Line 9 Fault 86.45%** Line 8 Fault 11.39% Transformer 1 Fault 3.389%	**Line 9 Fault 76.48%** Busbar F Fault 14.64% Line 3 Fault 4.828%
244. CB20	**Busbar E Fault 38.05%** Busbar F Fault 8.869% Line 4 Fault 0.9423%	**Busbar A Fault 6.742%** Busbar E Fault 4.882% Line 6 Fault 2.625%	**Line 1 Fault 10.87%** Busbar F Fault 7.175% Busbar B Fault 2.109%	**Line 8 Fault 3.764%** Line 5 Fault 2.4% Busbar F Fault 1.06%
245. BMRB	**Line 4 Fault 36.26%** Busbar E Fault 5.706% Transformer 4 Fault 3.034%	**Busbar B Fault 6.76%** Busbar A Fault 2.463% Transformer 4 Fault 1.503%	**Line 3 Fault 2.138%** Busbar E Fault 1.701% Transformer 4 Fault 1.165%	**Line 7 Fault 9.683%** Busbar B Fault 9.2% Line 6 Fault 2.828%
246. CB26	**Line 8 Fault 17.35%** Line 9 Fault 0.4247% Busbar A Fault 0.4082%	**Line 8 Fault 95.77%** Line 9 Fault 4.145% Line 6 Fault 0.9969%	**Line 8 Fault 80.89%** Line 1 Fault 2.834% Busbar F Fault 0.9231%	**Line 8 Fault 77.38%** Transformer 2 Fault 3.836% Line 3 Fault 1.7735%
247. BMRF	**Busbar F Fault 11.01%** Line 4 Fault 4.632% Busbar E Fault 0.7796%	**Busbar A Fault 9.744%** Transformer 4 Fault 2.852% Line 9 Fault 2.384%	**Line 8 Fault 15.21%** Line 9 Fault 6.546% Transformer 1 Fault 4.642%	**Line 3 Fault 22.17%** Line 9 Fault 2.072% Line 6 Fault 1.932%

7.2.2 ผลตอบสนองของโครงข่ายในกรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังสองตำแหน่งในเวลาเดียวกัน

การทดลองนี้จะใช้กลุ่มข้อมูลในการฝึกหัดชุดเดิมคือข้อมูลในกรณีเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังเพียงตำแหน่งเดียว (Single Fault) และค่าน้ำหนักไซแนปส์ในแต่ละโครงข่ายจะใช้เป็นค่าเดิม ซึ่งหมายถึงว่าโครงข่ายในแต่ละแบบในขณะนี้มีพื้นฐานความรู้เพียงลักษณะของการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น

รูปแบบอินพุทที่ใช้ในการทดสอบโครงข่ายจะเป็นรูปแบบในการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังสองตำแหน่งในเวลาเดียวกัน (Simultaneous Fault) โดยสัญญาณทั้งหมดเป็นสัญญาณที่อุปกรณ์ป้องกัน (ทั้งสองตำแหน่ง) ทำงานอย่างปกติทุกตัว

ผลตอบสนองของโครงข่ายที่ได้จากตารางที่ 7-2 จะพบว่าโครงข่ายทั้งสี่แบบจะให้ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ 2 ตำแหน่งที่สูงที่สุด ส่วนใหญ่ทุกต้อง โดยตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในตำแหน่งแรกของโครงข่าย จะพิจารณาจากผลตอบสนองของโหนดในชั้นเอาท์พุท ที่ให้ค่ามากที่สุด และตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในตำแหน่งที่สอง จะพิจารณาจากผลตอบสนองของโหนดตำแหน่งอื่นที่มีค่ารองลงมา

ในบางกรณีบางโครงข่ายจะให้ตำแหน่งในลำดับที่ 2 ที่มีค่าน้อยมาก หรือมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่ค่าผลตอบสนองเอาท์พุทตำแหน่งแรกจะมีค่าสูงมาก ทั้งนี้หมายความว่าโครงข่ายไม่สามารถสร้างผลตอบสนองทั้ง 2 ตำแหน่งได้ในรูปแบบอินพุทนั้น แต่ในบางรูปแบบอินพุทโครงข่ายจะให้ผลตอบสนองที่สูงมาก เช่นในกรณีที่ 106 โครงข่ายแบบ B จะให้ผลตอบสนองเป็นความผิดปกติขึ้นที่ไลน์ 2 และ 3 ตามลำดับ และค่าความแม่นยำของทั้งสองสูงมาก (92.92% และ 91.81%) แต่โครงข่ายแบบอื่นจะให้ผลตอบที่ถูกต้องเพียงตำแหน่งเดียวที่มีค่าความแม่นยำที่สูงมาก.

แนวโน้มความถูกต้องของผลตอบสนองของโครงข่าย ในตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติขึ้นและค่าความแม่นยำของโครงข่ายทั้งสี่แบบไม่มีแนวทางที่ชัดเจน. ทำให้ผลที่ได้มีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละรูปแบบอินพุท. เราสามารถเพิ่มความแม่นยำของโครงข่ายได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่ายให้มากขึ้น แต่ความสามารถของโครงข่ายในการตอบสนองข้อมูลในลักษณะนี้ก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นมาอย่างมาก เนื่องจากโครงข่ายมีความรู้อยู่เพียงจำกัดนั่นเอง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ผลของการเรียนรู้ของโครงข่ายเมื่อเทียบกับช่วงของน้ำหนักไซแนปส์เริ่มต้น

การทดสอบนี้ใช้หลักการจากการสุ่มค่าน้ำหนักเริ่มต้นที่อยู่ในช่วงแตกต่างกัน 7 ช่วงคือ -0.5 ถึง 0.5 , -1 ถึง 1 , -1.5 ถึง 1.5 , -2 ถึง 2 , -2.5 ถึง 2.5 , -3 ถึง 3 และ -3.5 ถึง 3.5 ดังรูปที่ 7-18 ถึง 7-26 โดยโครงข่ายที่ใช้ทดสอบเป็นโครงข่ายแบบ A มีค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.8 ใช้ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.2 และระดับความผิดพลาดโดยรวมต่ำสุดที่ยอมรับได้คือ 0.01 เปอร์เซนต์ จะพบว่าโครงข่ายจะใช้จำนวนรอบในการเรียนรู้ที่น้อยที่สุดในช่วงของค่าน้ำหนักไซแนปส์เท่ากับ -2 ถึง 2 ดังรูปที่ 7-26 ส่วนในกรณีที่ค่าน้ำหนักไซแนปส์เริ่มต้นอยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5 จะทำให้โครงข่ายมีค่าความผิดพลาดโดยรวมไม่ลู่เข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นโครงข่ายจะไม่สามารถเรียนรู้รูปแบบอินพุททั้งหมดได้.

7.4 ผลตอบสนองของโครงข่ายต่อข้อมูลรูปแบบการฝึกหัดที่ไม่มีความสำคัญ

จากการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์จำนวน 7 ตัว คือ CB3, CB4, CB7, CB8, CB11, CB12 และ CB18 แทรกอยู่ในกลุ่มของรูปแบบที่ใช้ในการฝึกหัด และมีค่าในการฝึกหัดในทุกๆ กรณีเป็น 0 จะพบว่าโครงข่ายไม่ให้ความสำคัญต่อสัญญาณแหล่านี้เลย ทั้งนี้พิจารณาได้จากค่าน้ำหนักไซแนปส์ที่เชื่อมโยงระหว่างอินพุทเหล่านี้ไปยังนิวรอนในชั้นซ่อนที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนในช่วงของการฝึกหัดโครงข่าย และเมื่อทดสอบการป้อนสัญญาณกระตุ้นเข้าที่อินพุทเหล่านี้ โครงข่ายจะให้ผลตอบสนองที่เป็นศูนย์ในทุกๆ นิวรอนในชั้นเอาท์พุท โดยนิวรอนที่มีผลตอบสนองที่มากที่สุดให้ค่าเพียง 0.0064 และเมื่อนำสัญญาณอินพุททั้ง 7 ตัวนี้ออกจากโครงข่าย แล้วทำการฝึกหัดโครงข่ายใหม่อีกครั้ง โดยใช้ค่าน้ำหนักไซแนปส์ของแต่ละการเชื่อมโยงเป็นค่าเดิม จะพบว่าโครงข่ายมีการเรียนรู้ได้อย่างเดิม และมีผลตอบสนองเอาท์พุทเท่ากับผลตอบสนองในครั้งแรกในทุกๆ กรณี

7.5 เวลาในการตอบสนองของโครงข่ายต่อข้อมูลกระตุ้นอินพุท

เมื่อใช้การตรวจจับเวลาที่ซีพียูใช้ในการตอบสนองต่อข้อมูลกระตุ้นอินพุทของโครงข่ายที่มีลักษณะการทำงานที่คำนวณไปข้างหน้า ในช่วงที่โครงข่ายใช้ในการคำนวณ โดยเริ่มจากการรับอินพุทแล้วคำนวณผลตอบสนองของแต่ละหน่วยประมวลผลย่อยแต่ละชั้นจนถึงชั้นเอาท์พุท จะพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าโครงข่ายใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 0.06 วินาที ทั้งนี้โปรแกรมทำงานบนคอมพิวเตอร์ที่ระบุไว้ข้างต้น

เวลาการทำงานของโครงข่ายในการตอบสนองต่อการกระตุ้นอินพุทที่รวดเร็วนี้ ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการคำนวณของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือ Mflops (Millions of Floating-Point Operations Per Second of CPU Time) และลักษณะของการโปรแกรม.

7.6 ผลตอบสนองของโครงข่ายต่อค่าความผิดพลาดในการเรียนรู้ที่ไม่เท่ากัน

ผลของการใช้รอบในการเรียนรู้ที่มากขึ้น ทำให้โครงข่ายสร้างผลตอบสนองโดยรวมได้ถูกต้องมากขึ้น แต่โครงข่ายก็ใช้เวลาในการเรียนรู้ที่นานขึ้นเช่นกัน เพราะการเรียนรู้ในช่วงนี้จะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงไม่มากนักซึ่งจะค่อยๆ ปรับตัวลดลง และเมื่อพิจารณาเทียบในส่วนของผลตอบสนองเอาท์พุทของโครงข่ายจะพบว่า ในบางกรณีที่โครงข่ายให้ผลตอบสนองที่ถูกต้องขึ้น แต่มีในบางกรณีที่โครงข่ายสร้างผลตอบสนองที่ผิดไปจากเดิม แต่มีแนวโน้มของความถูกต้องที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้สามารถที่จะอธิบายได้จากการที่โครงข่ายพยายามสร้างขอบเขตในการตัดสินใจที่ถูกต้องมากขึ้นนั่นเอง.

7.7 ความสามารถในการบอกรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาด

ความสามารถในส่วนนี้ได้มาจากการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมขึ้น โดยมีข้อมูลเริ่มต้นจากผลตอบสนองของโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่ปกติจะมีการทำงานจากฐานข้อมูลของคู่รูปแบบอินพุท-เอาท์พุทที่ใช้ในการฝึกหัดโครงข่าย โดยโปรแกรมจะแจ้งให้ทราบถึงชื่อของอุปกรณ์ที่มีการทำงานที่ผิดพลาดหรืออุปกรณ์ที่ไม่มีสัญญาณส่งเข้ามาที่อินพุทของโครงข่าย เมื่อการตัดสินใจของโครงข่ายมีความน่าเชื่อถือที่อยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งในโปรแกรมที่ใช้จะตั้งไว้ที่ระดับ 70 เปอร์เซนต์. ทั้งนี้จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ควบคุมระบบทราบถึงชื่อของอุปกรณ์ และสามารถที่จะแก้ไขซ่อมแซมอุปกรณ์นั้นให้กลับมาทำงานตามปกติได้อย่างรวดเร็วที่สุด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7-2 แสดงผลการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง กรณีที่เกิดหลายตำแหน่งในเวลาเดียวกัน (Simultaneous Fault) จากโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสี่แบบ

อินพุทที่ป้อนเข้าโครงข่าย (จากสถานะอุปกรณ์ป้องกันในระบบ)	การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง กรณีที่เกิดหลายตำแหน่งในเวลาเดียวกัน (Simultaneous Fault)			
	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม A	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม B	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม C	ลำดับการตัดสินใจที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม D
1. CB1 , CB2 , BMRA CB5 , CB6 , BMRB	**Busbar A Fault 62.51 %** **Busbar B Fault 16.03 %** Transformer 4 Fault 0.4018 %	**Busbar B Fault 97.32 %** **Busbar A Fault 53.45 %** Transformer 4 Fault 5.954 %	**Busbar B Fault 89.69 %** **Busbar A Fault 41.85 %** Transformer 3 Fault 0.536 %	**Transformer 1 Fault 65.71 %** **Busbar B Fault 5.217 %** Transformer 4 Fault 2.653 %
2. CB1 , CB2 , BMRA CB9 , LMR1	**Line 1 Fault 85.94 %** **Busbar A Fault 35.71 %** Transformer 4 Fault 0.3511 %	**Line 1 Fault 94.42 %** **Busbar A Fault 69.25 %** Busbar E Fault 0.7625 %	**Line 1 Fault 66.21 %** **Busbar A Fault 65.02 %** Line 8 Fault 0.9546 %	**Busbar A Fault 91.06 %** **Line 1 Fault 27.37 %** Transformer 1 Fault 2.815 %
3. CB1 , CB2 , BMRA CB10 LMR2	**Line 2 Fault 95.94 %** **Busbar A Fault 39.11 %** Line 3 Fault 0.1113 %	**Line 2 Fault 89.1 %** **Busbar A Fault 86.93 %** Busbar D Fault 1.588 %	**Busbar A Fault 28.37 %** **Line 2 Fault 17.59 %** Busbar B Fault 8.923 %	**Busbar A Fault 78.75 %** **Line 2 Fault 68.41 %** Busbar D Fault 2.443 %
4 CB1 , CB2 , BMRA , CB13 , CB14 CB15 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.96 %** **Busbar A Fault 0.2846 %** Line 3 Fault 0.117 %	**Busbar C Fault 92.25 %** **Busbar B Fault 4.025 %** Busbar D Fault 3.179 %	**Busbar C Fault 74.22 %** **Busbar B Fault 4.663 %** Transformer 4 Fault 1.449 %	**Busbar C Fault 80.53 %** **Busbar A Fault 62.1 %** Transformer 3 Fault 2.299 %
5. CB1 , CB2 , BMRA , CB16 , CB17 , CB19 BMRD	**Busbar D Fault 99.47 %** **Busbar A Fault 0.3446 %** Transformer 4 Fault 0.2841 %	**Busbar D Fault 95.76 %** **Busbar A Fault 77.16 %** Transformer 4 Fault 2.953 %	**Busbar D Fault 87.5 %** **Transformer 4 Fault 6.383 %** Busbar F Fault 1.151 %	**Busbar A Fault 77.46 %** **Busbar D Fault 76.36 %** Line 2 Fault 1.272 %
6. CB1 , CB2 , BMRA ,CB20 , CB21 , CB22 , CB23 , CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 98.03 %** **Busbar A Fault 0.1312 %** Line 5 Fault 0.1045 %	**Busbar E Fault 95.87 %** **Busbar A Fault 18.05 %** Line 6 Fault 1.74 %	**Busbar E Fault 83.1 %** **Busbar F Fault 15 %** Line 1 Fault 6.814 %	**Busbar E Fault 71.46 %** **Transformer 3 Fault 11.47 %** Busbar A Fault 3.629 %
7. CB1 , CB2 , BMRA ,CB20 , CB25 , CB26 CB27 , CB28 BMRF	**Busbar F Fault 98.29 %** **Transformer 4 Fault .2166%** Line 1 Fault 0.1238 %	**Busbar F Fault 95.53 %** **Busbar A Fault 8.27 %** Busbar E Fault 1.991 %	**Busbar F Fault 95.22 %** **Busbar A Fault 9.949 %** Transformer 4 Fault 2.451 %	**Busbar F Fault 68.59 %** **Busbar D Fault 6.208 %** Busbar A Fault 3.597 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. CB1 , CB2, BMRA, CB13, LMR3	**Busbar A Fault 85.9 %** **Line 3 Fault 2.745 %** Line 6 Fault 0.06489%	**Line 3 Fault 92.8 %** **Busbar A Fault 90.38 %** Line 2 Fault 5.957 %	**Busbar A Fault 25.47 %** **Line 3 Fault 20.58 %** Busbar B Fault 6.921 %	**Busbar A Fault 87.58 %** **Transformer 1 Fault 4.587 %** **Busbar C Fault 1.871%**
9. CB1 , CB2 , BMRA , CB21 , LMR4	**Busbar A Fault 52.27 %** **Transformer 4 Fault 5.986 %** Line 4 Fault 2.119 %	**Busbar A Fault 97.6 %** **Line 4 Fault 7.37 %** Line 3 Fault 2.143 %	**Busbar A Fault 72.55 %** **Line 4 Fault 24.92 %** Line 1 Fault 4.555 %	**Busbar A Fault 68.57 %** **Line 4 Fault 60.57 %** **Line 1 Fault 6.109 %**
10. CB1 , CB2 , BMRA, CB22 ,LMR5	**Line 5 Fault 99.41 %** **Busbar A Fault 6.166 %** Busbar D Fault 1.214 %	**Busbar A Fault 33.36 %** **Line 5 Fault 11.84 %** Line 1 Fault 9.838 %	Busbar A Fault 86.29 % Transformer 3 Fault 6.967 % Line 5 Fault 6.364 %	**Line 8 Fault 59.8 %** **Line 2 Fault 4.001 %** Busbar B Fault 2.502 %
11. CB1 , CB2 , BMRA , CB23 ,LMR6	**Line 6 Fault 89.54 %** **Busbar A Fault 60.58 %** Busbar D Fault 0.1214 %	**usbar A Fault 95.31 %** **Line 6 Fault 93.09 %** Busbar D Fault 2.689 %	**Line 6 Fault 54.56 %** **Line 8 Fault 8.362 %** Line 7 Fault 4.275 %	**Busbar A Fault 44.44 %** **Line 1 Fault 8.553 %** Transformer 3 Fault 8.525 %
12. CB1 , CB2 , BMRA, CB25 , LMR7	**Line 7 Fault 48.98 %** **Busbar A Fault 12.04 %** Transformer 4 Fault 0.7218 %	**Busbar A Fault 19.21 %** **Line 9 Fault 11.98 %** Line 7 Fault 5.272 %	**Busbar A Fault 70.78 %** **Line 7 Fault 26.34 %** Line 8 Fault 1.153 %	**Busbar A Fault 72.3 %** **Transformer 1 Fault 15.26 %** Line 1 Fault 9.952 %
13. CB1 , CB2 , BMRA, CB26 , LMR8	**Line 8 Fault 56.2 %** **Busbar A Fault 37.49 %** Line 3 Fault 0.1345 %	**Busbar A Fault 79.4 %** **Line 8 Fault 23 %** Busbar D Fault 0.8169 %	**Busbar A Fault 93.21 %** **Line 8 Fault 19.88 %** Line 1 Fault 2.488 %	**Busbar A Fault 92.04 %** **Line 8 Fault 10.05 %** Busbar C Fault 1.508 %
14. CB1 , CB2 , BMRA, CB28 , LMR9	**Line 9 Fault 94.9 %** **Busbar A Fault 17.45 %** Transformer 4 Fault 3.213 %	**Busbar A Fault 96.01 %** **Line 9 Fault 55.62 %** Busbar B Fault 2.881 %	**Busbar A Fault 71.07 %** **Line 9 Fault 41.89 %** Line 8 Fault 3.329 %	**Busbar A Fault 46.61 %** **Transformer 3 Fault 17.75 %** Busbar D Fault 4.356
15. CB1 , CB2 , BMRA, CB5 , CB9, CB13 , TMR1	**Transformer 1 Fault 11.43 %** **Busbar A Fault 2.277 %** Line 1 Fault 0.5866 %	**Transformer 1 Fault 86.06 %** **Busbar A Fault 53.43 %** Transformer 3 Fault 3.512 %	**Transformer 1 Fault 56.82 %** **Busbar A Fault 17.29 %** Line 8 Fault 3.535 %	**Transformer 1 Fault 93.62 %** **Busbar A Fault 47.93 %** Line 1 Fault 4.064 %

16. CB1 , CB2 , BMRA ,CB6 , CB10 , CB16 , TMR2	**Transformer 2 Fault 99.53 %** **Busbar A Fault 0.1289 %** Busbar F Fault 0.04249 %	**Transformer 2 Fault 57.26 %** **Line 2 Fault 17.81 %** Transformer 4 Fault 6.728 %	**Transformer 2 Fault 71.31 %** **Transformer 3 Fault 1.021 %** Line 1 Fault 0.6285 %	**Transformer 2 Fault 40.44 %** **Line 8 Fault 16.77 %** Busbar A Fault 14.66 %
17. CB1 , CB2 , BMRA, CB14 , CB24 , TMR3	**Transformer 3 Fault 60.57 %** **Busbar A Fault 0.8024 %** Busbar C Fault 0.3346 %	**Transformer 3 Fault 98.42 %** **Busbar A Fault 23.22 %** Line 1 Fault 2.31 %	**Transformer 3 Fault 89.86 %** **Busbar A Fault 47.8 %** Line 1 Fault 1.472 %	**Transformer 3 Fault 76.25%** **Busbar A Fault 32.45 %** Busbar C Fault 2.012 %
18. CB1 , CB2 , BMRA, CB17, CB27 TMR4	**Transformer 4 Fault 91 %** **Busbar A Fault 14.17 %** Busbar D Fault 0.1546 %	**Busbar A Fault 88.73 %** **Transformer 4 Fault 32.47 %** Busbar B Fault 2.643 %	**Transformer 4 Fault 68.16 %** Busbar A Fault 40.37 % Busbar F Fault 9.262 %	**Busbar A Fault 92.22 %** **Transformer 4 Fault 34.3 %** Transformer 3 Fault 5.597 %
19. CB5 , CB6 , BMRB ,CB13 , CB14 CB15 , CB19 , BMRC	**Busbar C Fault 99.96 %** **Transformer 1 Fault0.5187%** Line 2 Fault 0.05886 %	**Busbar C Fault 98.2 %** **Busbar B Fault 21.41 %** Line 3 Fault 0.8917 %	**Busbar C Fault 84.81 %** **Busbar B Fault 37.58 %** Line 2 Fault 0.9514 %	**Transformer 4 Fault 33.27 %** **Line 3 Fault 14.16 %** Busbar F Fault 8.365 %
20. CB5 , CB6 , BMRB ,CB16 , CB17 , CB19 BMRD	**Busbar D Fault 98.79 %** **Line 4 Fault 0.7208 %** Transformer 4 Fault 0.5076 %	**Busbar D Fault 47.76 %** **Busbar B Fault 40.04 %** Transformer 4 Fault 22.1 %	**Busbar D Fault 77.03 %** **Transformer 4 Fault 6.639 %** Busbar C Fault 4.354 %	**Busbar B Fault 64.96 %** **Busbar D Fault 37.25 %** Transformer 1 Fault 3.607 %
21. CB5 , CB6 , BMRB , CB20 ,CB21 CB22 ,CB23 CB24 , BMRE	**Busbar E Fault 99.82 %** **Line 4 Fault 0.259 %** Busbar F Fault 0.09324 %	**Busbar E Fault 90.8 %** **Busbar B Fault 20.39%** Busbar A Fault 0.8271%	**Busbar E Fault 62.17 %** **Line 3 Fault 4.416 %** Line 1 Fault 2.625 %	**Busbar E Fault 8.829 %** **Line 6 Fault 7.69 %** Line 2 Fault 1.997 %
22. CB5 , CB6 , BMRB ,CB20 , CB25 CB26 CB27 , CB28 BMRF	**Busbar F Fault 99.73 %** **Transformer 2 Fault 0.365 %** Transformer 4 Fault 0.2838 %	**Busbar F Fault 95.18 %** **Busbar B Fault 13.43 %** Busbar B Fault 1.546 %	**Busbar F Fault 75.81 %** **Transformer 4 Fault 9.505 %** Busbar A Fault 4.276 %	**Busbar F Fault 93.39 %** **Transformer 2 Fault 7.293 %** Line 3 Fault 4.458 %
23. CB5 , CB6 , BMRB , CB1 , CB9 , LMR1	**Line 1 Fault 95.21 %** **Busbar B Fault 11.37 %** Busbar A Fault 1.146 %	**Line 1 Fault 15.61 %** **Transformer 3 Fault 5.879 %** Busbar A Fault 5.619 %	**Line 1 Fault 53.9 %** **Busbar B Fault 29.31 %** Busbar A Fault 1.303 %	**Busbar B Fault 41.62 %** **Transformer 4 Fault 18.06%** Transformer 1 Fault 6.914 %

24. CB5 , CB6 , BMRB , CB2 CB10,LMR2	**Line 2 Fault 99.65 %** **Busbar B Fault 4.095 %** Busbar A Fault 4.035 %	**Line 2 Fault 91.54 %** **Busbar B Fault 81.29 %** Transformer 2 Fault 2.779 %	Busbar B Fault 75.87 % Line 2 Fault 23.4 % Busbar A Fault 0.2015 %	**Busbar B Fault 75.45 %** **Transformer 2 Fault 13.44 %** Line 2 Fault 5.158 %
25. CB5 , CB6 , BMRB , CB15, LMR3	**Busbar B Fault 93.41 %** **Line 3 Fault 5.309 %** Busbar A Fault 2.589 %	**Busbar B Fault 96.88 %** **Line 3 Fault 30.76 %** Busbar C Fault 1.937 %	**Busbar B Fault 87.77 %** **Line 3 Fault 49.79 %** Transformer 4 Fault 2.344 %	**Busbar B Fault 95.47 %** **Line 3 Fault 13.02 %** Transformer 1 Fault 4.471 %
26. CB5 , CB6 , BMRB , CB21 , LMR4	**Busbar B Fault 92.8 %** **Line 4 Fault 68.78 %** Busbar A Fault 0.594 %	**Busbar B Fault 99.47 %** **Line 4 Fault 9.813 %** Busbar C Fault 3.321	**Busbar B Fault 74.97 %** **Line 4 Fault 34.47 %** Transformer 2 Fault 1.586 %	**Busbar B Fault 92.94 %** **Line 4 Fault 29.5 %** Transformer 4 Fault 7.168 %
27. CB5 , CB6 ,BMRB , CB22, LMR5	Line 5 Fault 94.94 % Busbar A Fault 0.229 % Line 4 Fault 0.2021 %	**Line 5 Fault 16.99 %** **Busbar C Fault 7.793 %** Transformer 1 Fault 3.901 %	**Busbar B Fault 87.45 %** **Line 3 Fault 6.055 %** Line 2 Fault 4.537 %	**Busbar B Fault 80.41 %** **Line 5 Fault 31.81 %** Transformer 2 Fault 26.8 %
28. CB5 , CB6 ,BMRB , CB23, LMR6	**Line 6 Fault 97.51 %** **Busbar B Fault 72.65 %** Busbar A Fault 4.449 %	**Busbar B Fault 96.7 %** **Line 6 Fault 42.62 %** Line 9 Fault 0.5344 %	**Line 2 Fault 54.26 %** **Line 6 Fault 6.586 %** Line 7 Fault 1.055 %	**Busbar B Fault 98.11 %** **Line 6 Fault 21.6 %** Line 3 Fault 3.463 %
29. CB5 , CB6 ,BMRB , CB25, LMR7	**Line 7 Fault 92.42 %** **Busbar B Fault 78.43 %** Busbar A Fault 0.2738 %	**Line 7 Fault 71 .46 %** **Busbar B Fault 67.55 %** Line 9 Fault 3.886 %	**Busbar B Fault 77.96 %** **Busbar A Fault 4.698 %** Line 7 Fault 4.187 %	**Busbar B Fault 97.88 %** **Transformer 2 Fault 5.287 %** Line 7 Fault 1.943 %
30. CB5 , CB6 ,BMRB , CB26, LMR8	**Line 8 Fault 87.65 %** **Busbar B Fault 39.88 %** Busbar A Fault 2.034 %	**usbar B Fault 56.9 %** **Line 8 Fault 29.27 %** Line 9 Fault 3.246 %	**Busbar B Fault 69.51 %** **Busbar A Fault 3.756 %** Line 8 Fault 1.581 %	**Busbar B Fault 67.51 %** **Transformer 2 Fault 58.9 %** Busbar D Fault 8.409 %
31. CB5 , CB6 ,BMRB , CB28, LMR9	**Line 9 Fault 99.73 %** **Busbar B Fault 8.03 %** Busbar A Fault 1.096 %	**Busbar B Fault 97.35 %** **Line 9 Fault 78.67 %** Transformer 4 Fault 2.045 %	Busbar B Fault 47.63 % Busbar A Fault 2.786 % Transformer 4 Fault 1.757 %	**Busbar B Fault 73.05 %** **Busbar D Fault 6.842 %** Transformer 4 Fault 3.75 %

32. CB5 , CB6 ,BMRB , CB9 , CB13 , TMR1	**Transformer 1 Fault 99.16 %** **Busbar B Fault 9.114 %** Transformer 2 Fault 0.2003 %	**Transformer 1 Fault 94.65 %** **Busbar B Fault 81.31 %** Busbar C Fault 7.508 %	**Transformer 1 Fault 66.42 %** **Busbar B Fault 48.59 %** Line 4 Fault 1.27 %	**Transformer 1 Fault 85.57 %** **Busbar B Fault 43.63 %** Transformer 4 Fault 3.07 %
33. CB5 , CB6 ,BMRB , CB10 , CB16 , TMR2	**Transformer 2 Fault 99.91 %** **Busbar F Fault 0.09278 %** Line 4 Fault 0.06522 %	**Transformer 2 Fault 81.55 %** **Busbar B Fault 78.4 %** Transformer 4 Fault 1.671 %	**Busbar B Fault 47.01 %** **Transformer 2 Fault 22.26 %** Line 2 Fault 2.295 %	**Busbar B Fault 88.43 %** **Transformer 2 Fault 76.63 %** Busbar D Fault 3.129 %
34. CB5 , CB6 ,BMRB ,CB14 ,CB24 , TMR3	**Transformer 3 Fault 99.44 %** **Busbar B Fault 8.171 %** Line 9 Fault 0.212 %	**Transformer 3 Fault 88.65 %** **Busbar B Fault 52.55 %** Transformer 4 Fault 5.724 %	**Busbar B Fault 62.89 %** **Transformer 3 Fault 44.01 %** Transformer 2 Fault 1.247 %	**Transformer 4 Fault 68.24 %** **Busbar B Fault 23.89 %** Transformer 3 Fault 19.11 %
35. CB5 , CB6 ,BMRB, CB17 ,CB27, TMR4	**Transformer 4 Fault 97.14 %** **Busbar B Fault 43.93 %** Busbar A Fault 0.7022 %	**Busbar B Fault 96.04 %** **Transformer 4 Fault 47.04 %** Transformer 3 Fault 1.613 %	Busbar B Fault 92.7 % Transformer 4 Fault 15.37 % Line 3 Fault 2.604 %	**Busbar B Fault 73.23 %** **Transformer 4 Fault 68.3 %** Transformer 1 Fault 2.196 %
36. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB16 , CB17 , BMRD	**Busbar C Fault 99.01 %** **Busbar D Fault 48.55 %** Line 5 Fault 0.03811 %	**Busbar C Fault 97.37 %** **Busbar D Fault 6.552 %** Line 3 Fault 2.194 %	**Busbar C Fault 76.98 %** **Busbar D Fault 42.85 %** Transformer 4 Fault 1.614 %	**Busbar D Fault 54.67 %** **Busbar F Fault 4.637 %** Line 9 Fault 2.426 %
37. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 CB24 , BMRB	**Busbar E Fault 25.53 %** **Busbar D Fault 14.12 %** Busbar C Fault 2.073 %	**Busbar C Fault 76.94 %** **Busbar D Fault 6.099 %** Busbar B Fault 2.183 %	**Busbar E Fault 63.55 %** **Busbar C Fault 4.605 %** Busbar D Fault 2.752 %	**Busbar E Fault 69.79 %** **Busbar C Fault 59.69 %** Line 8 Fault 15.01 %
38. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB20 ,CB25 , CB26 ,CB27 , CB2 , BMRF	**Busbar F Fault 11.22 %** **Line 7 Fault 0.4781 %** Transformer 4 Fault 0.459 %	**Busbar C Fault 60.2 %** **Busbar B Fault 5.245 %** Transformer 4 Fault 5.096 %	**Busbar F Fault 30.43 %** **Busbar D Fault 17.45 %** Transformer 4 Fault 5.928 %	**Busbar F Fault 86.69 %** **Busbar C Fault 31.07 %** Line 9 Fault 1.368 %
39. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB1 , CB9 , LMR1	**Busbar C Fault 99.85 %** **Line 3 Fault 0.9872 %** Transformer 1 Fault 0.9246 %	**Busbar C Fault 63.33 %** **Transformer 1 Fault 10.24 %** Busbar D Fault 1.665 %	**Busbar C Fault 6.604 %** **Transformer 2 Fault 5.188 %** Line 4 Fault 4.348 %	**Busbar C Fault 96.64 %** **Line 1 Fault 23.53 %** Busbar A Fault 10.48 %

40. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB2 , CB10 , LMR2	**Busbar C Fault 99.97 %** **Line 2 Fault 5.207 %** Busbar D Fault 0.1972 %	**Busbar C Fault 94.15 %** **Line 3 Fault 5.689 %** Busbar B Fault 1.382 %	**Busbar C Fault 66.65 %** **Line 2 Fault 43.64 %** Busbar B Fault 2.008 %	**Line 8 Fault 41.06 %** **Busbar A Fault 8.519 %** Busbar C Fault 5.998 %
41. CB13 , CB14 ,CB15 , CB19,BMRC CB15 , LMR3	**Busbar C Fault 99.99 %** **Line 3 Fault 0.1433 %** Busbar A Fault 0.08309 %	**Busbar C Fault 97.25 %** **Line 3 Fault 13.77 %** Busbar B Fault 0.5772 %	**Busbar C Fault 97.81 %** **Line 3 Fault 8.752 %** Busbar B Fault 2.181 %	**Busbar C Fault 94.77 %** **Line 9 Fault 3.2 %** Busbar F Fault 2.081 %
42. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB21, LMR4	**Busbar C Fault 99.96 %** **Transformer 1 Fault0.1149%** Busbar D Fault 0.07686 %	**Busbar C Fault 98.42 %** **Line 4 Fault 5.45 %** Line 3 Fault 2.02 %	**Busbar C Fault 97.31 %** **Line 4 Fault 4.408 %** Busbar B Fault 1.278 %	**Busbar C Fault 84.41 %** **Line 1 Fault 73.53 %** Busbar A Fault 11.2 %
43. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB22 , LMR5	**Busbar C Fault 99.64 %** **Line 5 Fault 8.361 %** Busbar D Fault 0.6703 %	Busbar C Fault 92.81 % Line 5 Fault 11.8 % Line 3 Fault 1.869 %	**Busbar C Fault 98.5 %** **Line 5 Fault 3.381 %** Line 3 Fault 1.256 %	**Line 9 Fault 33.19 %** **Line 5 Fault 10.39 %** Busbar C Fault 7.193 %
44. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB23 , LMR6	Busbar C Fault 99.86 % Line 3 Fault 1.448 % Line 5 Fault 0.3305 %	**Busbar C Fault 98.14 %** **Busbar B Fault 2.698 %** Line 4 Fault 1.881 %	**Busbar C Fault 28.89 %** **Line 6 Fault 19.57 %** Line 5 Fault 6.569 %	**Busbar C Fault 93.53 %** **Line 9 Fault 17.22 %** Line 6 Fault 2.495 %
45. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB25 , LMR7	**Busbar C Fault 99.98 %** **Line 7 Fault 2.751 %** Transformer 1 Fault 0.2643 %	Busbar C Fault 97.14 % Line 4 Fault 2.54 % Transformer 1 Fault 1.213 %	**Busbar C Fault 87.93 %** **Busbar D Fault 0.6388 %** Transformer 1 Fault 0.6131 %	**Busbar C Fault 88.09 %** **Line 1 Fault 52.41 %** Line 8 Fault 3.247 %
46. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB26 , LMR8	**Busbar C Fault 99.97 %** **Line 8 Fault 0.5777 %** Busbar D Fault 0.2662 %	Busbar C Fault 96.1 % Line 3 Fault 4.908 % Line 8 Fault 2.392%	**Busbar C Fault 92.74 %** **Transformer 1 Fault 0.4566 %** Line 2 Fault 0.4481 %	**Busbar C Fault 94.61 %** **Line 8 Fault 15.92 %** Busbar A Fault 7.641 %
47. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB28 , LMR9	**Busbar C Fault 99.64 %** **Transformer 3 Fault0.8748%** Busbar A Fault 0.04112 %	**Busbar C Fault 98.09 %** **Busbar B Fault 10.23 %** Transformer 1 Fault 1.147 %	**Busbar C Fault 97.59 %** **Line 9 Fault 2.767 %** Busbar D Fault 1.056 %	**Busbar C Fault 81.97 %** **Line 9 Fault 59.88 %** Busbar F Fault 2.2 %

48. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB5, CB9 , TMR1	**Busbar C Fault 99.98 %** **Transformer 1 Fault3.785%** Line 3 Fault 0.0990 %	**Busbar C Fault 94.34 %** Transformer 1 Fault 33.63 % **Busbar B Fault 0.560 %**	**Busbar C Fault 93.79 %** **Transformer 1 Fault 42.84 %** Busbar B Fault 3.894 %	**Transformer 1 Fault 24.36 %** **Transformer 4 Fault 19.65 %** Busbar F Fault 10.1 %
49. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB6, CB10 , CB16 ,TMR2	**Busbar C Fault 62.45 %** **Transformer 1 Fault 1.595 %** Busbar D Fault 1.433 %	Busbar C Fault 95.92 % Transformer 2 Fault 1.638 % Busbar B Fault 1.34 %	**Busbar C Fault 57.65 %** **Transformer 2 Fault 27.82 %** Line 2 Fault 1.167 %	**Busbar F Fault 68.53 %** **Line 8 Fault 53.25 %** Transformer 2 Fault 30.87 %
50. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB24 ,TMR3	**Busbar C Fault 99.98 %** **Transformer 3 Fault0.5851%** Transformer 1 Fault 0.04784 %	**Busbar C Fault 95.11 %** **Transformer 1 Fault 1.89 %** Busbar B Fault 0.4562 %	**Busbar C Fault 95.01 %** **Transformer 3 Fault 6.559 %** Transformer 4 Fault 1.345 %	**Busbar C Fault 71.18 %** **Transformer 3 Fault 41.73 %** Busbar A Fault 7.094 %
51. CB13 , CB14,CB15 , CB19, BMRC CB17, CB27 ,TMR4	**Busbar C Fault 99.98 %** **Busbar D Fault 0.1205 %** Transformer 4 Fault 0.1183 %	**Busbar C Fault 97.92 %** **Transformer 4 Fault 2.318 %** Line 3 Fault 2.251 %	**Busbar C Fault 90.98 %** **Transformer 4 Fault 13.65 %** Busbar B Fault 2.599 %	**Busbar C Fault 80.69 %** **Transformer 4 Fault 35.39 %** Line 1 Fault 6.913 %
52. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE	**Busbar E Fault 98.5 %** **Busbar D Fault 7.008 %** Line 4 Fault 0.4989 %	**Busbar E Fault 90.22 %** **Busbar D Fault 61.66 %** Busbar A Fault 0.5435 %	**Busbar E Fault 87.95 %** **Transformer 2 Fault 11.58 %** Busbar D Fault 9.515 %	**Line 2 Fault 18.19 %** **Busbar E Fault 14.1 %** Transformer 3 Fault 6.408 %
53. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB20 ,CB25 , CB26 ,CB27 , CB2 , BMRF	**Busbar F Fault 73.79 %** **Busbar E Fault 2.169 %** Busbar D Fault 0.6803 %	Busbar F Fault 97.9 % Busbar D Fault 15.72 % Busbar E Fault 3.817 %	**Busbar F Fault 69.86 %** **Busbar D Fault 51.07 %** Line 8 Fault 0.8272 %	**Busbar F Fault 91.09 %** **Busbar D Fault 33.82 %** Line 9 Fault 1.853 %
54. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB1 , CB9 , LMR1	**Busbar D Fault 81.1 %** **Transformer 4 Fault0.2227%** Busbar A Fault 0.113 %	Line 1 Fault 79.73 % Busbar D Fault 50.1 % Busbar A Fault 9.69	**Busbar D Fault 36.78 %** **Busbar F Fault 19.51 %** Busbar E Fault 3.335 %	**Busbar D Fault 37.91 %** **Busbar A Fault 28.21 %** Transformer 1 Fault 2.835 %
55. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB2 , CB6 , LMR2	**Busbar D Fault 99.39 %** **Line 2 Fault 20.85 %** Busbar A Fault 0.1168 %	**Line 2 Fault 97.07 %** **Busbar D Fault 69.77 %** Busbar A Fault 6.705 %	Busbar D Fault 62.44 % Line 6 Fault 2.486 % Busbar C Fault 1.662 %	**Busbar D Fault 84.05 %** **Line 2 Fault 46.64 %** Baisbar A Fault 7.188 %

56. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB15 , LMR3	**Busbar D Fault 99.79 %** **Busbar C Fault 0.3428 %** Line 5 Fault 0.2226 %	Busbar D Fault 89.24 % Line 3 Fault 88.04 % Busbar C Fault 4.276 %	**Busbar D Fault 79.32 %** **Transformer 4 Fault 11.61 %** Busbar C Fault 9.916 %	**Busbar D Fault 92.85 %** **Busbar F Fault 5.991 %** Transformer 4 Fault 3.844 %
57. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB21 , LMR4	**Busbar D Fault 99.04 %** **Line 4 Fault 2.713 %** Busbar B Fault 1.9 %	Busbar D Fault 83.61 % Busbar C Fault 24.96 % Transformer 4 Fault 1.418	**Busbar D Fault 90.93 %** **Transformer 4 Fault 7.875 %** Busbar C Fault 2.296 %	**Line 4 Fault 26.91 %** **Busbar D Fault 19.05 %** Line 2 Fault 3.754 %
58. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB22 , LMR5	**Busbar D Fault 97.98 %** **Line 5 Fault 39.06 %** Busbar B Fault 1.555 %	**Busbar D Fault 82.32 %** **Line 5 Fault 60.5 %** Busbar C Fault 1.08%	**Busbar D Fault 95.93 %** **Busbar C Fault 4.737 %** Line 5 Fault 1.204 %	**Busbar D Fault 27.29 %** **Line 5 Fault 18.78 %** Busbar F Fault 6.376 %
59. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB23 , LMR6	**Busbar D Fault 99.08 %** **Line 4 Fault 0.4773 %** Busbar B Fault 0.3672 %	**Busbar D Fault 81.27 %** **Line 6 Fault 25.86 %** Busbar A Fault 3.801 %	**Busbar D Fault 78.88 %** **Line 6 Fault 72.89 %** Line 5 Fault 0.9753 %	**Busbar D Fault 56.8 %** **Line 2 Fault 1.576 %** Busbar B Fault 1.144 %
60. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB25 , LMR7	**Busbar D Fault 98.32 %** **Busbar C Fault 0.2588 %** Line 7 Fault 0.1603 %	**Line 7 Fault 13.31 %** **Busbar D Fault 4.249 %** Line 8 Fault 3.058 %	**Busbar D Fault 96.98 %** **Line 7 Fault 4.253 %** Transformer 1 Fault 0.9817 %	**Busbar D Fault 51.99 %** **Transformer 2 Fault 5.322 %** Transformer 1 Fault 1.899 %
61. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB26 , LMR8	**Busbar D Fault 99.29 %** **Line 8 Fault 8.499 %** Transformer 4 Fault 0.0204 %	**Busbar D Fault 84.89 %** **Line 8 Fault 72.48 %** Busbar F Fault 0.2817 %	**Busbar D Fault 94.89 %** **Busbar F Fault 1.611 %** Line 6 Fault 1.156 %	**Busbar D Fault 90.44 %** **Busbar A Fault 9.838 %** Line 8 Fault 3.679 %
62. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB28 , LMR9	**Busbar D Fault 67.99 %** **Transformer 4 Fault 5.177 %** Busbar B Fault 2.724 %	**Busbar D Fault 86.91 %** **Line 9 Fault 38.58 %** Transformer 4 Fault 3.88 %	**Busbar D Fault 98.15 %** **Line 9 Fault 1.874 %** Busbar C Fault 1.273 %	**Busbar D Fault 81.64 %** **Line 9 Fault 34.39 %** Busbar F Fault 8.937 %
63. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB5 , CB9 , CB13 , TMR1	Busbar D Fault 85.24 % **Busbar C Fault 0.9086 %** Transformer 1 Fault 0.462 %	**Transformer 1 Fault 83.52 %** **Busbar D Fault 57.38 %** Busbar C Fault 2.383 %	Busbar D Fault 58.85 % Transformer 1 Fault 38.91 % Busbar C Fault 1.491 %	**Transformer 1 Fault 84.8 %** **Busbar D Fault 35.08 %** Busbar B Fault 5.427 %

64. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB6 , CB10 „TMR2	**Transformer 2 Fault 90.87 %** **Busbar D Fault 47.79 %** Line 4 Fault 0.3914 %	Transformer 2Fault 45.34 % **Busbar B Fault 3.38 %** **Busbar C Fault 2.48 %**	**Busbar D Fault 65.83 %** **Transformer 2 Fault 44.628 %** Transformer 4 Fault 3.449 %	**Transformer 2 Fault 63.98 %** **Busbar D Fault 54.64 %** Budbar B Fault 7.3 %
65. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB14 , CB24 ,TMR3	**Busbar D Fault 83.16 %** **Busbar E Fault 0.8197 %** Busbar C Fault 0.7937 %	**Transformer 3 Fault 73.46 %** **Busbar D Fault 10.15 %** Transformer 4 Fault 7.648 %	**Busbar D Fault 77.06 %** **Transformer 4 Fault 10.55 %** Busbar C Fault 3.192 %	**Transformer 3 Fault 55.05 %** **Busbar D Fault 17.62 %** Transformer 4 Fault 5.843 %
66. CB16 , CB17 , CB19 BMRD CB27 ,TMR4	**Busbar D Fault 99.68 %** **Transformer 4 Fault0.9682%** Busbar B Fault 0.1646 %	**Busbar D Fault 97.54 %** **Transformer 4 Fault 51.65 %** Busbar C Fault 2.35 %	**Busbar D Fault 90.64 %** **Transformer 4 Fault 20.77 %** Busbar C Fault 1.128 %	**Busbar D Fault 96.39 %** **Transformer 4 Fault 9.099 %** Busbar F Fault 2.475 %
67. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE ,CB25 ,CB26,CB27 CB28 , BMRF	**Busbar F Fault 96.21 %** **Busbar E Fault 87.14 %** Line 4 Fault 0.0239 %	Busbar F Fault 96.1 % Busbar B Fault 25.34 % Line 6 Fault 0.76%	**Busbar E Fault 88.41 %** **Busbar F Fault 58.65 %** Transformer 4 Fault 0.7977 %	Busbar B Fault 46.83 % Line 8 Fault 12.89 % Line 5 Fault 4.126 %
68. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB1 , CB9 , LMR1	**Busbar E Fault 97.82 %** **Busbar F Fault 1.758 %** Line 1 Fault 0.03504 %	Busbar B Fault 88.86 % Line 1 Fault 74.56 % Busbar A Fault 1.553 %	**Busbar E Fault 69.06 %** **Line 1 Fault 31.71 %** Busbar F Fault 1.307 %	**Busbar E Fault 95.78 %** **Line 1 Fault 3.008 %** Line 8 Fault 1.83 %
69. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB2 , CB10 , LMR2	**Busbar E Fault 94.62 %** **Line 6 Fault 2.051 %** Busbar A Fault 0.07175 %	**Busbar E Fault 88.85 %** **Line 2 Fault 18.07 %** Busbar A Fault 5.03 %	**Busbar E Fault 55.29 %** **Line 5, Fault 10.55 %** Transformer 2 Fault 7.749 %	**Busbar E Fault 87.8 %** **Line 2 Fault 33.69 %** Transformer 3 Fault 1.86 %
70. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB15 , LMR3	**Busbar E Fault 99.77 %** **Line 5 Fault 0.07246 %** Line 4 Fault 0.04272 %	**Busbar E Fault 95.05 %** **Busbar A Fault 1.083 %** Busbar F Fault 0.8532 %	**Busbar E Fault 92.17 %** **Line 3 Fault 28.72 %** Transformer 4 Fault 4.389 %	**Busbar E Fault 93.75 %** **Line 5 Fault 1.865 %** Line 8 Fault 1.789 %
71. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , LMR4	Busbar E Fault 99.9 % Line 4 Fault 0.2531 % Busbar F Fault 0.02112 %	**Busbar E Fault 97.88 %** **Line 6 Fault 2.334 %** Busbar A Fault 0.2129 %	**Busbar E Fault 98.34 %** **Line 4 Fault 2.313 %** Transformer 2 Fault 1.623 %	**Busbar E Fault 94.75 %** **Transformer 3 Fault 2.356 %** Line 1 Fault 1.85 %

72. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , LMR5	**Busbar E Fault 99.58 %**	**Busbar E Fault 97.3 %**	**Busbar E Fault 98.35 %**	**Busbar E Fault 96.32 %**
	Line 5 Fault 0.1074 %	**Line 6 Fault 1.059 %**	**Line 5 Fault 3.887 %**	**Line 5 Fault 4.763 %**
	Busbar F Fault 0.06796 %	Line 5 Fault 0.909 %	Line 4 Fault 0.9037 %	Line 8 Fault 1.164 %
73. CB20 , CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , LMR6	**Busbar E Fault 99.84 %**	**Busbar E Fault 98.75 %**	**Busbar E Fault 97.23 %**	**Busbar E Fault 97.26 %**
	Busbar F Fault 0.09582 %	**Line 6 Fault 21.75 %**	**Line 5 Fault 4.122 %**	**Line 6 Fault 2.217 %**
	Line 4 Fault 0.03718 %	Busbar A Fault 0.469 %	Line 6 Fault 3.65 %	Transformer 3 Fault 1.294 %
74. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB25 , LMR7	**Busbar E Fault 99.1 %**	**Busbar E Fault 53.53 %**	**Busbar E Fault 96.82 %**	**Busbar E Fault 94.36 %**
	Busbar F Fault 13.39 %	**Line 7 Fault 2.327 %**	**Busbar F Fault 1.064 %**	**Line 1 Fault 1.742 %**
	Line 5 Fault 0.02289 %	Line 6 Fault 1.52 %	Line 6 Fault 1.05 %	Line 6 Fault 1.088 %
75. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB26 , LMR8	**Busbar E Fault 99.8 %**	**Busbar E Fault 83.43 %**	**Busbar E Fault 97.18 %**	**Busbar E Fault 92.2%**
	Line 4 Fault 0.09605 %	**Busbar F Fault 4.542 %**	**Line 8 Fault 1.756 %**	**Line 8 Fault 19.8 %**
	Busbar F Fault 0.0805 %	Line 6 Fault 2.843 %	Line 6 Fault 1.713 %	Line 1 Fault 1.6 %
76. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB28 , LMR9	**Busbar E Fault 99.46 %**	**Busbar E Fault 93.07 %**	**Busbar E Fault 98.43 %**	**Busbar E Fault 58.92 %**
	Busbar F Fault 1.888 %	**Busbar F Fault 2.508 %**	**Line 5 Fault 0.8751 %**	**Transformer 3 Fault 5.429 %**
	Line 4 Fault 0.2306 %	Line 6 Fault 1.951 %	Busbar F Fault 0.841 %	Busbar C Fault 2.822%
77. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB5 , CB9 , CB13 , TMR1	**Busbar E Fault 99.54 %**	**Busbar E Fault 69.6 %**	**Busbar E Fault 42.1 %**	**Line 1 Fault 82.71 %**
	Transformer 1 Fault0.5134%	**Transformer 1 Fault 1.676 %**	**Line 4 Fault 3.666 %**	**Transformer 1 Fault 3.591 %**
	Line 4 Fault 0.5071 %	Line 6 Fault 1.093 %	Busbar F Fault 2.094 %	Line 7 Fault 2.343 %
78. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB6 ,CB10, CB16 , TMR2	**Busbar E Fault 99.45 %**	**Transformer 2 Fault 84.38 %**	**Busbar E Fault 91.68 %**	**Transformer 2 Fault 40.15 %**
	Transformer 2 Fault 70.98 %	**Busbar E Fault 70.71 %**	**Transformer 2 Fault 42.39 %**	**Line 5 Fault 22.01 %**
	Line 4 Fault 0.9102 %	Busbar F Fault 3.15 %	Line 4 Fault 1.726 %	Busbar E Fault 15.45 %
79. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB14 , CB24 , TMR3	**Busbar E Fault 99.91 %**	**Busbar E Fault 91.59 %**	**Busbar E Fault 95.02 %**	**Busbar E Fault 88.94 %**
	Transformer 3 Fault0.5085%	**Transformer 3 Fault 21.32%**	**Transformer 3 Fault 3.792 %**	**Transformer 3 Fault 27.37 %**
	Line 4 Fault 0.2373 %	Transformer 4 Fault 0.6713 %	Transformer 2 Fault 2.776 %	Line 2 Fault 1.266 %

80. CB20 ,CB21 , CB22 ,CB23 , CB24 BMRE , CB17 , CB27 , TMR4	**Busbar E Fault 99.64 %** Busbar F Fault 0.3392 % Line 4 Fault 0.158 %	**Busbar E Fault 98.1 %** Transformer 4 Fault 0.6454% Busbar A Fault 0.6012 %	**Busbar E Fault 96.38 %** Transformer 4 Fault 21.12 % Line 4 Fault 2.512 %	**Transformer 3 Fault 62.06 %** Busbar E Fault 30.08 % Busbar C Fault 2.29 %
81. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , CB1 , CB9 , LMR1	**Busbar F Fault 99.85 %** Line 1 Fault 0.3546 % Line 7 Fault 0.07238 %	**Busbar F Fault 89.21 %** Line 1 Fault 69.22 % Busbar A Fault 1.19 %	**Busbar F Fault 83.4 %** Line 1 Fault 18.25 % Busbar A Fault 1.693 %	Busbar F Fault 95.05 % Busbar C Fault 1.798 % Line 3 Fault 0.8699 %
82. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , CB2 , CB10 , LMR2	Busbar F Fault 98.52 % Transformer 4 Fault 1.359 % Busbar A Fault 0.127 %	**Busbar F Fault 95.37 %** Line 2 Fault 44.02 % Busbar B Fault 2.164	**Busbar F Fault 43.4. %** Line 8 Fault 19.65 % Line 1 Fault 4.467 %	**Busbar F Fault 68.85 %** Transformer 3 Fault 15.78 % Line 8 Fault 8.949 %
83. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , CB15 , LMR3	**Busbar F Fault 99.82 %** Line 7 Fault 0.2067 % Busbar B Fault 0.06074 %	**Busbar F Fault 97.89 %** Transformer 4 Fault 1.374 % Busbar B Fault 0.8482 %	**Busbar F Fault 90.13 %** Line 3 Fault 4.558 % Transformer 4 Fault 2.727 %	**Busbar F Fault 97.8 %** Line 3 Fault 4.645 % Busbar D Fault 1.33 %
84. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , CB21 , LMR4	**Busbar F Fault 99.83 %** Busbar E Fault 0.8216 % Transformer 4 Fault 0.05314%	**Busbar F Fault 98.32 %** Transformer 2 Fault 1.027 % Transformer 4 Fault 0.5992 %	**Busbar F Fault 98.06 %** Transformer 4 Fault 3.271 % Line 4 Fault 2.197 %	**Busbar F Fault 50.8 %** Busbar C Fault 3.595 % Line 3 Fault 0.6812 %
85. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , CB22 , LMR5	**Busbar F Fault 99.83 %** Busbar E Fault 0.7746 % Line 1 Fault 0.05982 %	**Busbar F Fault 74.03 %** Line 1 Fault 2.742 % Busbar E Fault 1.81 %	**Busbar F Fault 94.5 %** Busbar E Fault 1.878 % Line 8 Fault 1.277 %	**Busbar F Fault 92.99 %** Line 5 Fault 20.56 % Transformer 2 Fault 3.796 %
86. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , CB23 , LMR6	**Busbar F Fault 99.77 %** Busbar E Fault 1.831 % Transformer 4 Fault 0.02682 %	**Busbar F Fault 98.44 %** Line 6 Fault 25.99 % Busbar B Fault 3.686%	**Busbar F Fault 32.46 %** Line 8 Fault 18.13 % Line 6 Fault 7.105 %	**Busbar F Fault 88.03 %** Line 9 Fault 2.409 % Line 3 Fault 2.214 %
87. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , LMR7	**Busbar F Fault 99.88 %** Line 7 Fault 0.6308 % Transformer 4 Fault 0.1165 %	**Busbar F Fault 94.72 %** Line 9 Fault 0.936 % Line 7 Fault 0.6198 5	**Busbar F Fault 97.43 %** Line 8 Fault 2.554 % Busbar D Fault 0.7408 %	**Busbar F Fault 97.36 %** Line 8 Fault 1.812 % Transformer 2 Fault 1.105 %

88. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , LMR8	**Busbar F Fault 99.56 %** **Transformer 4 Fault0.1209%** Busbar E Fault 0.09543 %	**Busbar F Fault 97.76 %** **Line 8 Fault 1.967 %** Line 9 Fault 0.3737%	**Busbar F Fault 98.14 %** **Line 8 Fault 4.041 %** Transformer 1 Fault 0.6666 %	**Busbar F Fault 97.66 %** **Line 8 Fault 2.493 %** Busbar D Fault 0.9356 %
89. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , LMR9	**Busbar F Fault 99.7 %** **Busbar E Fault 0.1494 %** Transformer 4 Fault 0.07188 %	**Busbar F Fault 97.16 %** **Line 9 Fault 2.53 %** Transformer 4 Fault 0.4917 %	**Busbar F Fault 98.46 %** **Transformer 4 Fault 1.194 %** Line 8 Fault 1.124 %	**Busbar F Fault 97.13 %** **Line 9 Fault 3.378 %** Busbar C Fault 1.765 %
90. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF , CB5 ,CB9 ,CB13, TMR1	**Busbar F Fault 99.75 %** Transformer 2 Fault 0.14422% **Line 1 ,Fault 0.064 %**	**Line 9 Fault 29.26 %** **Busbar F Fault 21.67 %** **Busbar A Fault 1.404 %**	**Busbar F Fault 88.02 %** **Transformer 1 Fault 13.3 %** Line 8 Fault 3.294 %	**Busbar F Fault 82.81 %** **Line 3 Fault 9.304 %** Trandformer 1 Fault 6.57 %
91. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF, CB6,CB10 ,CB16, TMR2	**Busbar F Fault 97.79 %** **Transformer 2 Fault 84.71 %** Busbar E Fault 1.116 %	**Busbar F Fault 85.84 %** **Transformer 2 Fault 74.73 %** Transformer 4 Fault 1.086 %	**Busbar F Fault 62.83 %** **Transformer 2 Fault 21.33 %** Busbar E Fault 10.65 %	**Busbar F Fault 95.49 %** **Transformer 2 Fault 49.28 %** Line 5 Fault 8.375 %
92. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF, CB14 ,CB24, TMR3	**Busbar F Fault 99.51 %** **Busbar E Fault 0.5781 %** Transformer 3 Fault 0.2597 %	**Busbar F Fault 30.15 %** **Transformer 4 Fault 11.05 %** Transformer 3 Fault 5.568 %	**Busbar F Fault 87.6 %** **Busbar E Fault 10.8 %** Transformer 4 Fault 8.034 %	**Line 9 Fault 34.54 %** **Busbar C Fault 11.85 %** Transformer 3 Fault 6.446 %
93. CB20 ,CB25 ,CB26,CB27, CB28 BMRF, CB17 , TMR	**Busbar F Fault 99.72 %** **Transformer 4 Fault0.8658%** Busbar E Fault 0.07316 %	**Busbar F Fault 99.09 %** **Transformer 4 Fault 1.769 %** Busbar E Fault 0.399 %	**Busbar F Fault 98.52 %** **Transformer 4 Fault 5.122 %** Busbar D Fault 0.7193 %	**Busbar F Fault 95.42 %** **Line 3 Fault 3.795 %** Busbar C Fault 2.515 %
94. CB1 , CB9 ,LMR1, CB2 , CB10 LMR2	**Line 2 Fault 60.17 %** **Busbar A Fault 31.03 %** Line 6 Fault 0.191 %	**Busbar A Fault 67.47 %** **Line 1 Fault 51.27 %** Line 2 Fault 8.133 %	**Line 2 Fault 41.02 %** **Line 1 Fault 25.99 %** Transformer 2 Fault 4.843 %	**Busbar E Fault 19.99 %** **Line 2 Fault 16.03 %** Busbar A Fault 3.001 %
95. CB1 , CB9 ,LMR1, CB15 , LMR3	**Line 1 Fault 98.97 %** **Line 3 Fault 2.195 %** Busbar A Fault 1.716 %	**Line 1 Fault 78.08 %** **Busbar A Fault 33.14 %** Line 3 Fault 7.064 %	**Line 1 Fault 83.39 %** **Line 3 Fault 65.6 %** Line 4 Fault 6.964 %	**Line 1 Fault 58.4 %** **Line 3 Fault 30.89 %** Busbar C Fault 17.52 %

96. CB1 , CB9 ,LMR1, CB21 , LMR4	**Line 1 Fault 73.75 %** **Busbar F Fault 0.2562 %** Line 4 Fault 0.2471 %	**Line 1 Fault 93.95 %** Transformer 1 Fault 0.7107 % Busbar A Fault 0.4712 %	**Line 1 Fault 83.36 %** **Line 4 Fault 13.59 %** Line 3 Fault 1.593 %	**Line 4 Fault 76.64 %** **Line 1 Fault 46.78 %** Line 7 Fault 4.586 %
97. CB1 , CB9 ,LMR1, CB22 , LMR5	**Line 5 Fault 96.09 %** **Line 1 Fault 10.01 %** Busbar A Fault 0.3713 %	**Line 1 Fault 88.11 %** **Line 5 Fault 46.33 %** Busbar E Fault 2.28%	**Line 1 Fault 79.52 %** **Line 2 Fault 2.921 %** Busbar B Fault 1.504 %	**Line 5 Fault 31.8 %** **Busbar E Fault 17.77 %** Line 8 Fault 12.23 %
98. CB1 , CB9 ,LMR1, CB23 , LMR6	**Line 1 Fault 86.18 %** **Line 6 Fault 18.82 %** Busbar A Fault 2.521 %	**Line 1 Fault 94.28 %** **Line 6 Fault 31.95 %** Busbar B Fault 8.13 %	**Line 6 Fault 70.2 %** **Line 8 Fault 23.42 %** Line 1 Fault 18.31 %	**Line 6 Fault 50.95 %** **Line 1 Fault 39.01 %** Busbar B Fault 4.817 %
99. CB1 , CB9 ,LMR1, CB25 , LMR7	**Line 1 Fault 80.61 %** **Line 7 Fault 68.65 %** Busbar F Fault 4.007 %	**Line 1 Fault 83.85 %** **Line 7 Fault 17.89 %** Transformer 1 Fault 0.3853 %	**Line 1 Fault 38.69 %** **Line 8 Fault 9.294 %** Busbar A Fault 2.665 %	**Line 1 Fault 74.24 %** **Line 7 Fault 55.23 %** Transformer 1 Fault 1.694 %
100. CB1 , CB9 ,LMR1, CB26 , LMR8	**Line 1 Fault 75.41 %** **Line 8 Fault 8.516 %** Busbar A Fault 2.509 %	**Line 1 Fault 89.49 %** **Line 8 Fault 27.47 %** Busbar A Fault 0.9682 %	**Line 1 Fault 94.38 %** **Line 8 Fault 31.82 %** Busbar F Fault 1.713 %	**Line 1 Fault 47.95 %** **Line 8 Fault 40.8 %** Busbar C Fault 8.02 %
101. CB1 , CB9 ,LMR1, CB28 , LMR9	**Line 9 Fault 38.47 %** **Line 1 Fault 9.672 %** Busbar F Fault 1.067 %	**Line 1 Fault 97.2 %** **Line 9 Fault 7.02 %** Busbar A Fault 4.771 %	**Line 1 Fault 83.71 %** **Line 8 Fault 13.13 %** Busbar A Fault 2.636 %	**Busbar C Fault 75.78 %** **Line 9 Fault 35.91 %** Transformer 4 Fault 4.464 %
102. CB1 , CB9 , LMR1 , CB5 CB13 TMR1	**Transformer 1 Fault 90.05 %** **Line 1 Fault 34.71 %** Busbar A Fault 0.1552 %	**Transformer 1 Fault 92.01 %** **Line 1 Fault 31.59 %** Transformer 3 Fault 0.6729 5	**Transformer 1 Fault 41.32 %** **Line 1 Fault 29.82 %** Line 8 Fault 19.38 %	**Transformer 1 Fault 93.8 %** **Line 1 Fault 9.506 %** Busbar A Fault 4.57 %
103. CB1 , CB9 , LMR1 , CB6 , CB10 CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 99.72 %** **Busbar F Fault 2.583 %** Line 1 Fault 1.048 %	**Transformer 2 Fault 73.3 %** **Line 1 Fault 13.21 %** Transformer 3 Fault 0.862 %	**Transformer 2 Fault 66.92 %** **Line 1 Fault 29.66 %** Line 4 Fault 0.3824 %	**Transformer 2 Fault 74.54 %** **Line 8 Fault 11.23 %** Busbar F Fault 2.085 %

104. CB1 , CB9 , LMR1 , CB14 , CB24 TMR3	**Transformer 3 Fault 78.5 %** **Line 1 Fault 2.53 %** Busbar F Fault 1.157 %	**Transformer 3 Fault 91.09 %** **Line 1 Fault 64.42 %** Busbar A Fault 2.186 %	**Line 1 Fault 65.72 %** **Transformer 3 Fault 44.06 %** Transformer 2 Fault 1.343 %	**Transformer 3 Fault 87.18 %** **Busbar A Fault 3.743 %** Busbar C Fault 2.834 %
105. CB1 , CB9 , LMR1 , CB17 , CB27 TMR 4	**Transformer 4 Fault 42.9 %** **Line 1 Fault 42.35 %** Busbar F Fault 1.342 %	**Line 1 Fault 98.19 %** **Transformer 4 Fault 5.742 %** Busbar A Fault 4.677 %	**Line 1 Fault 56.5 %** **Line 4 Fault 4.979 %** Busbar F Fault 4.161 %	**Transformer 4 Fault 59.49 %** **Line 1 Fault 31.28 %** Busbar C Fault 6.015 %
106. CB2 ,CB10 , LMR2, CB15 ,LMR3	**Line 2 Fault 99.72 %** **Busbar A Fault 4.686 %** Line 3 Fault 3.028 %	**Line 2 Fault 92.98 %** **Line 3 Fault 91.81 %** Busbar A Fault 1.136 %	**Line 2 Fault 65.32 %** **Line 3 Fault 7.362 %** Busbar B Fault 4.012 %	**Line 2 Fault 80.25 %** **Line 8 Fault 12.44 %** Transformer 2 Fault 5.154 %
107. CB2 ,CB10 , LMR2, CB21 ,LMR4	**Line 2 Fault 99.15 %** **Busbar A Fault 1.786 %** Busbar D Fault 0.2262 %	**Line 2 Fault 94.08 %** **Transformer 2 Fault 3.568 %** Line 3 Fault 2.081 %	**Line 2 Fault 85.79 %** **Line 4 Fault 43.17 %** Transformer 2 Fault 5.85 %	**Line 2 Fault 78.49 %** **Line 4 Fault 52.99 %** Transformer 3 Fault 2.995 %
108. CB2 ,CB10 , LMR2, CB22 ,LMR5	**Line 5 Fault 35.82 %** **Line 2 Fault 10.22 %** Line 3 Fault 5.512 %	Line 5 Fault 7.046 % Busbar E Fault 4.77 % Line 2 Fault 4.14 %	**Line 2 Fault 94.27 %** **Line 5 Fault 8.898 %** Line 6 Fault 0.9487 %	**Line 5 Fault 78.17 %** **Line 2 Fault 41.1 %** Transformer 2 Fault 8.399 %
109. CB2 ,CB10 , LMR2, CB23 ,LMR6	**Line 2 Fault 97.64 %** **Line 6 Fault 78 %** Busbar A Fault 6.936 %	**Line 2 Fault 94.7 %** **Line 6 Fault 86.19 %** Busbar A Fault 2.359 %	**Line 2 Fault 68.93 %** **Line 6 Fault 54.95 %** Line 5 Fault 1.342 %	**Line 2 Fault 74.8 %** **Busbar E Fault 3.413 %** Line 5 Fault 2.015 %
110. CB2 ,CB10 , LMR2, CB25 ,LMR7	**Line 2 Fault 98.26 %** **Busbar A Fault 1.776 %** Line 7 Fault 0.9212 %	**Transformer 2 Fault 42.84 %** **Line 7 Fault 5.131 %** Busbar F Fault 1.597 %	**Line 2 Fault 73.58 %** **Line 7 Fault 30.38 %** Busbar B Fault 0.8123 %	Line 2 Fault 92.11 % Transformer 2 Fault 25.7 % Line 7 Fault 7.269 %
111. CB2 ,CB10 , LMR2, CB26 ,LMR8	**Line 2 Fault 99.62 %** **Line 8 Fault 9.826 %** Busbar A Fault 3.617 %	**Line 2 Fault 85.77 %** **Busbar F Fault 5.06 %** Line 8 Fault 2.541 %	**Line 2 Fault 75.08 %** **Line 8 Fault 9.234 %** Line 6 Fault 1.848 %	**Line 8 Fault 83.25 %** **Line 2 Fault 75.23 %** Busbar A Fault 7.69 %

112. CB2 ,CB10 , LMR2, CB28 ,LMR9	**Line 9 Fault 70.59 %** **Busbar A Fault 18.84 %** Line 2 Fault 2.067 %	**Line 2 Fault 96.98 %** **Busbar A Fault 17.95 %** Busbar B Fault 3.885 %	**Line 2 Fault 69.63 %** **Line 6 Fault 1.642 %** Busbar C Fault 1.497 %	**Line 9 Fault 22.94 %** **Line 2 Fault 12.02 %** Busbar D Fault 9.016 %
113. CB2 ,CB10 , LMR2, CB5 , CB9 CB13 TMR1	**Line 2 Fault 98.21 %** **Transformer 1 Fault 5.466 %** Busbar C Fault 0.3099 %	**Busbar A Fault 23.11 %** **Transformer 1 Fault 10.18 %** Line 2 Fault 10.05 %	**Transformer 1 Fault 25.24 %** **Line 2 Fault 24.88 %** Busbar B Fault 8.823 %	**Transformer 1 Fault 86.16 %** **Busbar A Fault 4.403 %** Line 7 Fault 3.81 %
114. CB2 ,CB10 , LMR2, CB6 CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 98.42 %** **Line 2 Fault 0.6045 %** Busbar A Fault 0.09855 %	**Line 2 Fault 69.56 %** **Transformer 2 Fault 62.15 %** Busbar B Fault 1.218 %	**Transformer 2 Fault 72.46 %** **Line 2 Fault 46.86 %** Line 4 Fault 0.3879 %	**Transformer 2 Fault 85.51 %** **Line 2 Fault 43.91 %** Line 8 Fault 1.884 %
115. CB2 , CB10 , LMR2 ,CB14 , CB24 TMR3	**Line 2 Fault 95.63 %** **Transformer 3 Fault 51.75 %** Busbar C Fault 1.33 %	**Transformer 3 Fault 90.64 %** **Line 2 Fault 11.43 %** Transformer 4 Fault 8.17 %	**Transformer 3 Fault 39.48 %** **Line 2 Fault 24.86 %** Transformer 2 Fault 1.933 %	**Transformer 3 Fault 90.5 %** **Line 2 Fault 30.97 %** Busbar B Fault 6.909 %
116. CB2 CB10 , LMR2 ,CB14 , CB24 TMR4	**Line 2 Fault 91.29 %** **Busbar A Fault 10.08 %** Transformer 4 Fault 0.5481 %	**Line 2 Fault 95.46 %** **Transformer 4 Fault 6.26 %** Busbar A Fault 5.045 %	**Busbar B Fault 58.31 %** **Line 2 Fault 10.71 %** Transformer 4 Fault 4.291 %	**Transformer 3 Fault 16.65 %** **Busbar A Fault 14.4 %** Line 4 Fault 12.21 %
117. CB15 , LMR3 , CB21 , LMR4	**Line 4 Fault 90.34 %** **Line 3 Fault 47.29 %** Line 5 Fault 1.58 %	**Line 3 Fault 96.56 %** **Line 4 Fault 47.8 %** Busbar C Fault 4.45 %	**Line 3 Fault 92.97 %** **Line 4 Fault 50.77 %** Line 1 Fault 11.99 %	**Line 4 Fault 69.97 %** **Line 7 Fault 3.049 %** Transformer 4 Fault 2.956 %
118. CB15 , LMR3 , CB22 , LMR5	**Line 5 Fault 99.95 %** **Line 3 Fault 2.63 %** Busbar D Fault 0.3759 %	**Line 5 Fault 90.81 %** **Line 3 Fault 62.16 %** Line 4 Fault 0.8089 %	**Line 3 Fault 94.09 %** **Line 5 Fault 48.63 %** Transformer 4 Fault 0.8288 %	**Line 5 Fault 88.49 %** **Line 9 Fault 4.798 %** Line 3 Fault 3.666 %
119. CB15 , LMR3 , CB23, LMR6	**Line 6 Fault 98.02 %** **Line 3 Fault 15.6 %** Line 5 Fault 1.421 %	**Line 6 Fault 50.34 %** **Line 3 Fault 6.34 %** Busbar B Fault 4.096 %	**Line 6 Fault 37.21 %** **Line 5 Fault 24.99 %** Line 8 Fault 3.428 %	**Line 6 Fault 70.54 %** **Line 3 Fault 43.36 %** Line 9 Fault 1.816 %

120. CB15 , LMR3 , CB25 , LMR7	**Line 7 Fault 99.52 %** **Line 3 Fault 12.59 %** Line 5 Fault 0.1795 %	**Line 7 Fault 55.49 %** **Line 4 Fault 15.54 %** Line 3 Fault 6.235 %	**Line 3 Fault 21.74 %** **Line 7 Fault 21.24 %** Transformer 1 Fault 9.899 %	**Line 7 Fault 92.79 %** **Line 3 Fault 54.13 %** Transformer 1 Fault 8.889 %
121. CB15 , LMR3 , CB26 , LMR8	**Line 8 Fault 98.77 %** **Line 3 Fault 27.27 %** Busbar A Fault 3.418 %	**Line 3 Fault 91.09 %** **Line 8 Fault 74.72 %** Line 4 Fault 0.4754 %	**Line 3 Fault 59.95 %** **Line 8 Fault 27.63 %** Line 1 Fault 6.839 %	**Line 8 Fault 62.41 %** **Line 3 Fault 26.37 %** Busbar F Fault 4.78 %
122. CB15 , LMR3 , CB28 , LMR9	**Line 9 Fault 99.17 %** **Busbar A Fault 2.055 %** Line 4 Fault 0.1212 %	**Line 3 Fault 76.64 %** **Line 9 Fault 11.82 %** Busbar A Fault 4.803 %	**Line 3 Fault 87.45 %** **Line 9 Fault 18.82 %** Line 5 Fault 4.481 %	**Line 9 Fault 81.64 %** **Line 3 Fault 31.32 %** Busbar F Fault 5.566 %
123. CB15 , LMR3 , CB5 , CB9,CB13 TMR1	**Transformer 1 Fault 99.28 %** **Line 3 Fault 13.78 %** Line 1 Fault 0.1095 %	**Transformer 1 Fault 82.46 %** **Busbar C Fault 17.29 %** Line 3 Fault 10.66 %	**Transformer 1 Fault 83.12 %** **Line 3 Fault 58.46 %** Line 9 Fault 1.543 %	**Transformer 1 Fault 94.66 %** **Line 3 Fault 13.77 %** Transformer 4 Fault 4.25 %
124. CB15 , LMR3 , CB6 , CB10,CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 99.91 %** **Transformer 1 Fault .0896%** Line 4 Fault 0.04618 %	**Transformer 2 Fault 82.52 %** **Line 3 Fault 9.735 %** Line 2 Fault 0.9084 %	**Transformer 2 Fault 76.74 %** **Line 3 Fault 1.578 %** Line 1 Fault 1.176 %	**Transformer 2 Fault 96.02 %** **Busbar F Fault 8.903 %** Line 3 Fault 3.488 %
125. CB15,LMR3 , CB14 , CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 99.59 %** **Line 3 Fault 0.7595 %** Line 4 Fault 0.2044 %	**Transformer 3 Fault 86.92 %** **Transformer 4 Fault 20.67 %** Line 3 Fault 5.205 %	**Line 3 Fault 74.68 %** **Transformer 3 Fault 73.74 %** Busbar B Fault 1.833 %	**Transformer 3 Fault 69.47 %** **Transformer 4 Fault 16.28 %** Line 9 Fault 16.21 %
126. CB15,LMR3 ,CB17 , CB27,TMR4	**Transformer 4 Fault 87.57 %** **Busbar A Fault 3.2 %** Busbar D Fault 0.06492 %	**Line 3 Fault 96.69 %** **Transformer 4 Fault 62.15 %** Busbar A Fault 2.19 %	**Line 3 Fault 92.52 %** **Transformer 4 Fault 43.57 %** Busbar B Fault 2.84 %	**Transformer 4 Fault 91.89 %** **Line 3 Fault 40.69 %** Transformer 1 Fault 2.42 %
127. CB21 , LMR4 , CB22 , LMR5	**Line 5 Fault 99.26 %** **Line 4 Fault 7.891 %** Busbar B Fault 1.67 %	**Line 5 Fault 97.03 %** **Line 4 Fault 19.28 %** Transformer 1 Fault 1.279 %	**Line 4 Fault 55.69 %** **Line 5 Fault 45.65 %** Line 2 Fault 6.566 %	**Line 6 Fault 48.54 %** **Line 5 Fault 30.28 %** Line 2 Fault 4.011 %

128. CB21 , LMR4 , CB23 , LMR6	**Line 6 Fault 77.81 %** **Line 4 Fault 30.02 %** Busbar B Fault 5.798 %	**Line 6 Fault 99.61 %** **Line 4 Fault 30.34 %** Busbar B Fault 0.7529 %	**Line 6 Fault 83.99 %** **Line 2 Fault 5.091 %** Line 4 Fault 0.9878 %	**Line 4 Fault 79.41 %** **Line 6 Fault 24.89 %** Line 7 Fault 1.603 %
129. CB21 , LMR4 , CB25 , LMR7	**Line 7 Fault 66.37 %** **Transformer 3 Fault 3.132 %** Line 4 Fault 0.9993 %	**Line 7 Fault 98.94 %** **Line 4 Fault 11.8 %** Line 6 Fault 1.408%	**Line 7 Fault 45.12 %** **Line 4 Fault 13.92 %** Transformer 1 Fault 1.106 %	**Line 4 Fault 68.3 %** **Line 7 Fault 63.95 %** Line 1 Fault 10.66 %
130. CB21 , LMR4 , CB26 , LMR8	**Line 8 Fault 67.9 %** **Line 4 Fault 13.08 %** Transformer 2 Fault 0.3408 %	**Line 8 Fault 95.93 %** **Line 4 Fault 8.281 %** Line 6 Fault 1.144 %	**Line 4 Fault 45.09 %** **Line 8 Fault 29.45 %** Line 1 Fault 6.634 %	**Line 1 Fault 18.14 %** **Busbar A Fault 14.92 %** Line 4 Fault 13.23 %
131. CB21 , LMR4 , CB28 , LMR9	**Line 9 Fault 95.99 %** **Line 4 Fault 3.913 %** Busbar B Fault 0.3052 %	**Line 9 Fault 97.12 %** **Line 4 Fault 5.062 %** Busbar B Fault 3.728 %	**Line 4 Fault 19.8 %** **Line 9 Fault 4.164 %** Busbar C Fault 3.944 %	**Transformer 3 Fault 32.26 %** **Transformer 4 Fault 26.98 %** Line 4 Fault 16.46 %
132. CB21 , LMR4 ,CB5 , CB9,CB13 TMR1	**Transformer 1 Fault 99.6 %** **Line 4 Fault 33.07 %** Transformer 2 Fault 0.08184 %	**Transformer 1 Fault 97.24 %** **Line 4 Fault 17.15 %** Busbar C Fault 2.801 %	**Transformer 1 Fault 93.34 %** **Line 4 Fault 36.61 %** Busbar F Fault 0.6895 %	**Transformer 1 Fault 72.52 %** **Line 1 Fault 15.5 %** Busbar A Fault 7.868 %
133. CB21 , LMR4 , CB6 , CB10,CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 99.83%** **Line 4 Fault 1.397 %** Busbar B Fault 1.332 %	**Transformer 2 Fault 98.83 %** **Line 4 Fault 2.73 %** Busbar B Fault 1.34 %	**Transformer 2 Fault 97.68 %** **Line 4 Fault 13.2 %** Line 2 Fault 0.6054 %	**Transformer 2 Fault 48.13 %** **Line 7 Fault 7.311 %** Line 2 Fault 6.02 %
134. CB21,LMR4, CB14 , CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 99.44 %** **Line 4 Fault 8.36 %** Transformer 2 Fault 0.06314 %	**Transformer 3 Fault 92.61 %** **Transformer 1 Fault 3.399 %** Line 4 Fault 3.146 %	**Transformer 3 Fault 86.61 %** **Line 4 Fault 25.57 %** Transformer 2 Fault 2.415 %	**Line 4 Fault 80.16 %** **Transformer 3 Fault 70.63 %** Busbar A Fault 3.427 %
135. CB21,LMR4 ,CB17 , CB27,TMR4	**Transformer 4 Fault 91.56 %** **Line 4 Fault 16.96 %** Busbar B Fault 0.4914 %	**Transformer 4 Fault 71.11 %** **Busbar B Fault 12.16 %** Line 4 Fault 8.179 %	**Transformer 4 Fault 86.97 %** **Line 4 Fault 62.23 %** Transformer 2 Fault 1.404 %	**Line 4 Fault 67.06 %** **Transformer 4 Fault 31.6 %** Transformer 3 Fault 0.9448 %

136. CB22 , LMR5 , CB23 , LMR6	**Line 5 Fault 99.44 %** **Line 6 Fault 5.49 %** Busbar B Fault 0.9627 %	**Line 6 Fault 84.93 %** **Line 5 Fault 62.01 %** Line 4 Fault 2.269 %	**Line 6 Fault 91.69 %** **Line 5 Fault 20.92 %** Line 2 Fault 1.422 %	**Line 5 Fault 90.72 %** **Line 6 Fault 16.89 %** Line 9 Fault 1.796 %
137. CB22 , LMR5 , CB25 , LMR7	**Line 5 Fault 96.97 %** **Line 7 Fault 39.09 %** Line 3 Fault 0.2104 %	**Line 5 Fault 64.25 %** **Line 7 Fault 57.59 %** Line 6 Fault 3.224 %	**Line 7 Fault 90.55 %** **Line 5 Fault 14.82 %** Line 6 Fault 1.463 %	**Line 5 Fault 82.32 %** **Transformer 2 Fault 23.01 %** Line 8 Fault 2.434 %
138. CB22 , LMR5 , CB26 , LMR8	**Busbar D Fault 45.32 %** **Line 5 Fault 42.29 %** Line 3 Fault 3.107 %	**Line 5 Fault 73.55 %** **Line 8 Fault 70.99 %** Busbar D Fault 0.6062	**Line 8 Fault 80.66 %** **Line 6 Fault 16.4 %** Line 5 Fault 7.279 %	**Line 5 Fault 75.53 %** **Line 8 Fault 61.71 %** Transformer 2 Fault 9.934 %
139. CB22 , LMR5 , CB28 , LMR9	**Busbar E Fault 9.445 %** **Line 4 Fault 1.263 %** Line 5 Fault 1.167 %	**Line 5 Fault 64.22 %** **Line 7 Fault 3.788 %** Line 6 Fault 1.34 %	**Line 5 Fault 85.35 %** **Line 9 Fault 62.39 %** Busbar C Fault 3.686 %	**Line 5 Fault 87.17 %** **Line 9 Fault 34.89 %** Busbar D Fault 0.8574 %
140. CB22 , LMR5 ,CB5 , CB9,CB13 TMR1	**Line 5 Fault 89.75 %** **Transformer 1 Fault 36.33 %** Busbar B Fault 0.2202 %	**Transformer 1 Fault 79.13 %** **Line 5 Fault 53.01 %** Line 4 Fault 0.9537 %	**Transformer 1 Fault 96.47 %** **Busbar C Fault 6.399 %** Line 9 Fault 4.152 %	**Transformer 2 Fault 62.65 %** **Busbar F Fault 35.77 %** Transformer 1 Fault 19.78 %
141. CB22, LMR5 , CB6 , CB10,CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 96.08 %** **Busbar E Fault 62.24 %** Line 4 Fault 0.5039 %	**Transformer 2 Fault 83.25 %** **Line 5 Fault 6.173 %** Busbar B Fault 0.3628 %	**Transformer 2 Fault 86.12 %** **Line 2 Fault 2.255 %** Line 5 Fault 0.9564 %	**Transformer 2 Fault 92.22 %** **Line 5 Fault 44.51 %** Line 8 Fault 3.569 %
142. CB22,LMR5, CB14 , CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 15.69 %** **Line 5 Fault 4.331 %** Line 4 Fault 3.502	**Line 5 Fault 5.58 %** **Transformer 3 Fault 5.337 %** Busbar B Fault 3.058 %	**Transformer 3 Fault 93.94 %** **Line 5 Fault 32.52 %** Transformer 4 Fault 0.7729 %	**Transformer 3 Fault 28.32 %** **Line 9 Fault 11.97 %** Line 5 Fault 5.638 %
143. CB22,LMR5, CB17 , CB27,TMR4	**Line 5 Fault 79.02 %** **Busbar E Fault 2.43 %** Busbar D Fault 1.501 %	**Line 5 Fault 87.87 %** **Transformer 4 Fault 2.161 %** Line 3 Fault 1.825 %	**Transformer 4 Fault 90.89 %** **Line 5 Fault 7.157 %** Line 3 Fault 4.654 %	**Line 9 Fault 43.76 %** **Line 5 Fault 9.323 %** Busbar F Fault 4.123 %

144. CB23 , LMR6 , CB25 , LMR7	**Line 7 Fault 61.56 %** **Line 6 Fault 60.29 %** Busbar A Fault 1.427 %	**Line 7 Fault 90.23 %** **Line 6 Fault 64.09 %** Transformer 2 Fault 2.178 %	**Line 6 Fault 91.01 %** **Line 7 Fault 12.22 %** Line 8 Fault 1.566 %	**Line 6 Fault 72.2 %** **Line 7 Fault 55.32 %** Line 4 Fault 3.838 %
145. CB23 , LMR6 , CB26 , LMR8	**Line 6 Fault 84.41 %** **Line 8 Fault 40.56 %** Busbar A Fault 11.61 %	**Line 6 Fault 92.85 %** **Line 8 Fault 73.65 %** Busbar F Fault 0.3241 %	**Line 6 Fault 96.59 %** **Line 8 Fault 51.83 %** Line 7 Fault 0.8638 %	**Line 8 Fault 10.52 %** **Line 5 Fault 7.68 %** Busbar B Fault 6.402 %
146. CB23 , LMR6 , CB28 , LMR9	**Line 9 Fault 64.14 %** **Line 6 Fault 3.652 %** Busbar A Fault 2.334 %	**Line 6 Fault 93.03 %** **Line 9 Fault 88.9 %** Busbar B Fault 10.85 %	**Line 6 Fault 95.56 %** **Line 9 Fault 8.374 %** Busbar D Fault 6.085 %	**Line 6 Fault 61.75 %** **Line 9 Fault 61.43 %** Transformer 3 Fault 2.854 %
147. CB23 , LMR6 ,CB5 , CB9,CB13 TMR1	**Transformer 1 Fault 75.54 %** **Line 6 Fault 0.8038 %** Line 3 Fault 0.3572 %	**Transformer 1 Fault 88.93 %** **Line 6 Fault 42.65 %** Line 4 Fault 1.464 %	**Line 6 Fault 58.58 %** **Transformer 1 Fault 28.59 %** Line 8 Fault 10.36 %	**Transformer 1 Fault 34.89 %** **Line 3 Fault 7.686 %** Line 7 Fault 5.902 %
148. CB23 , LMR6 , CB6 , CB10,CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 99.56 %** **Busbar E Fault 2.415 %** Line 4 Fault 0.4469 %	**Transformer 2 Fault 94.5 %** **Line 6 Fault 50.78 %** Busbar B Fault 1.23 %	**Line 6 Fault 54.74 %** **Transformer 2 Fault 8.539 %** Line 2 Fault 5.305 %	**Transformer 2 Fault 91.95 %** **Line 5 Fault 15.61 %** Line 7 Fault 3.836 %
149. CB23,LMR6, CB14 , CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 95.94 % Line 6 Fault 0.9857 %** Line 4 Fault 0.3962 %	**Transformer 3 Fault 91.76 %** **Transformer 1 Fault 5.273 %** Busbar B Fault 2.398 %	**Line 5 Fault 54.11 %** **Line 6 Fault 11.88 %** Transformer 3 Fault 2.997 %	**Transformer 3 Fault 81.33 %** **Line 6 Fault 16.06 %** Line 9 Fault 5.496 %
150. CB23,LMR6, CB17 , CB27,TMR4	**Transformer 4 Fault 44.69 %** **Line 6 Fault 6.834 %** Busbar A Fault 2.349 %	**Line 6 Fault 41.64 %** **Busbar B Fault 21.39 %** Busbar A Fault 5.474 %	**Line 6 Fault 43.01 %** **Busbar D Fault 14.78 %** Line 5 Fault 2.177 %	**Transformer 4 Fault 80.85 %** **Line 6 Fault 3.461 %** Line 9 Fault 2.25 %
151. CB25 , LMR7 , CB26 , LMR8	**Line 7 Fault 38.32 %** **Line 8 Fault 34.88 %** Transformer 3 Fault 0.4786 %	**Line 8 Fault 91.81 %** **Line 7 Fault 77.07 %** Line 9 Fault 3.327 %	**Line 8 Fault 80.86 %** **Line 7 Fault 79.49 %** Busbar A Fault 0.7822 %	**Line 8 Fault 86.06 %** **Line 7 Fault 25.76 %** Transformer 2 Fault 10.14 %

152. CB25 , LMR7 , CB28 , LMR9	**Busbar F Fault 30.21 %** **Line 9 Fault 26.57 %** Line 7 Fault 8.655 %	**Line 7 Fault 95.99 %** **Line 9 Fault 81.64 %** Line 8 Fault 1.481 %	**Line 7 Fault 63.36 %** **Line 9 Fault 22.36 %** Busbar D Fault 2.515 %	**Line 9 Fault 14.82 %** **Line 3 Fault 7.332 %** Line 6 Fault 6.13 %
153. CB25 , LMR7 , CB5 , CB9,CB13 TMR1	**Transformer 1 Fault 92.17 %** **Line 7 Fault 43.34 %** Busbar F Fault 0.03666 %	**Line 7 Fault 84.55 %** **Transformer 1 Fault 81.73 %** Line 4 Fault 0.5522 %	**Transformer 1 Fault 90.3 %** **Line 7 Fault 11.65 %** Busbar D Fault 0.6892 %	**Transformer 1 Fault 93.64 %** **Line 7 Fault 27.93 %** Line 1 Fault 5.116 %
154. CB25 , LMR7 , CB6 , CB10,CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 99.43 %** **Busbar F Fault 35.54 %** Transformer 3 Fault 0.1005 %	**Transformer 2 Fault 95.67 %** **Line 7 Fault 58.01 %** Line 9 Fault 1.61 %	**Transformer 2 Fault 52.23%** **Line 2 Fault 0.6154 %** Busbar D Fault 0.44 %	**Transformer 2 Fault 93.79 %** **Line 7 Fault 8.454 %** Line 8 Fault 1.418 %
155. CB25,LMR7, CB14,CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 99.61 %** **Line 7 Fault 26.04 %** Busbar F Fault 0.1362 %	**Transformer 3 Fault 60.51 %** **Line 7 Fault 31.93 %** Transformer 1 Fault 5.141 %	**Transformer 3 Fault 30.29 %** **Busbar A Fault 1.935 %** Line 7 Fault 1.087 %	**Transformer 3 Fault 84.11 %** **Busbar E Fault 19.7 %** Line 4 Fault 9.033 %
156. CB25,LMR7, CB17 , CB27,TMR4	**Line 7 Fault 80.13 %** **Transformer 4 Fault 72.86** % Busbar F Fault 1.881 %	**Line 7 Fault 90.62 %** **Line 9 Fault 21.14 %** Transformer 4 Fault 15.98 %	**Transformer 4 Fault 67.06 %** **Line 7 Fault 20.33 %** Busbar D Fault 2.29 %	**Transformer 4 Fault 12.24 %** **Transformer 1 Fault 7.519 %** Line 4 Fault 7.2 %
157. CB26 , LMR8 , CB28 , LMR9	**Line 9 Fault 99.56 %** **Line 8 Fault 6.058 %** Busbar A Fault 1.343 %	**Line 8 Fault 95.99 %** **Line 9 Fault 87.3 %** Busbar F Fault 2.518 %	**Line 8 Fault 87.77 %** **Line 9 Fault 53.47 %** Line 6 Fault 3.121 %	**Line 9 Fault 22.14 %** **Line 8 Fault 8.877 %** Busbar C Fault 7.528 %
158. CB26 , LMR8 , CB5 , CB9,CB13 TMR1	**Transformer 1 Fault 82 %** **Line 8 Fault 13.62 %** Busbar A Fault 0.2171 %	**Line 8 Fault 69.24 %** **Transformer 1 Fault 68.21 %** Busbar A Fault 0.45%	**Transformer 1 Fault 93.75 %** **Line 8 Fault 42.23 %** Busbar F Fault 1.519 %	**Transformer 1 Fault 89.61 %** **Busbar A Fault 4.367 %** Line 1 Fault 1.95 %
159. CB26 , LMR8 , CB6 , CB10,CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 99.71 %** **Busbar F Fault 0.04923 %** Line 8 Fault 0.03875 %	**Transformer 2 Fault 78.22 %** **Line 8 Fault 2.314 %** Busbar F Fault 1.035 %	**Transformer 2 Fault 96.75 %** **Busbar E Fault 0.6996 %** Line 8 Fault 0.5252 %	**Transformer 2 Fault 87.32 %** **Line 8 Fault 59.82 %** Busbar F Fault 3.583 %

160. CB26,LMR8, CB14,CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 99.25 %** **Line 8 Fault 9.111 %** Busbar C Fault 0.08224 %	**Transformer 3 Fault 23.13 %** **Transformer 1 Fault 6.589 %** Transformer 4 Fault 1.368 %	**Transformer 3 Fault 53.82 %** **Line 1 Fault 5.627 %** Busbar A Fault 2.073 %	**Transformer 3 Fault 66.69 %** **Busbar C Fault 23.12 %** Busbar A Fault 6.955 %
161. CB26,LMR8, CB17 ,CB27,TMR4	**Transformer 4 Fault 46.48 %** **Line 8 Fault 46.43 %** Busbar D Fault 0.4409 %	**Line 8 Fault 77.39 %** **Transformer 4 Fault 4.485 %** Busbar F Fault 3.538 %	**Transformer 4 Fault 30.66 %** **Busbar F Fault 26.08 %** Line 4 Fault 0.6962 %	**Busbar A Fault 14.39 %** **Busbar C Fault 9.895 %** Transformer 4 Fault 5.945 %
162. CB28 , LMR9 , CB5 , CB9,CB13 TMR1	**Line 9 Fault 51.46 %** **Transformer 1 Fault 2.237 %** Transformer 2 Fault 1.337 %	**Transformer 1 Fault 95.22 %** **Line 9 Fault 47.03 %** Busbar B Fault 1.675 %	**Transformer 1 Fault 96.54 %** **Line 9 Fault 30.93 %** Busbar C Fault 2.004 %	**Transformer 4 Fault 36.5 %** **Transformer 1 Fault 35.24 %** Line 3 Fault 10.39 %
163. CB28 , LMR9 , CB6 ,CB10,CB16 TMR2	**Transformer 2 Fault 97.14 %** **Busbar F Fault 3.911 %** Line 9 Fault 2.235 %	**Transformer 2 Fault 97.93 %** **Line 9 Fault 12.37 %** Busbar B Fault 6.475 %	**Transformer 2 Fault 79.8 %** **Busbar D Fault 2.326 %** Transformer 4 Fault 1.497 %	**Transformer 2 Fault 67.58 %** **Line 5 Fault 49.21 %** Busbar F Fault 23.67 %
164. CB28,LMR9, CB14,CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 86.14 %** **Line 9 Fault 66.44 %** Busbar F Fault 0.1397 %	**Transformer 3 Fault 98.95 %** **Line 9 Fault 14.66 %** Transformer 4 Fault 7.681 %	**Transformer 3 Fault 84.25 %** **Line 9 Fault 12.51 %** Transformer 4 Fault 2.008 %	Transformer 3 Fault 67.13 % Line 9 Fault 55.35 % Transformer 4 Fault 4.99 %
165. CB28,LMR9, CB17 ,CB27,TMR4	**Line 9 Fault 76.62 %** **Transformer 4 Fault 57.06 %** Busbar F Fault 2.072 %	**Line 9 Fault 85.18 %** **Transformer 4 Fault 73.96 %** Busbar B Fault 6.975 %	**Transformer 4 Fault 85.56 %** **Busbar D Fault 7.532 %** Line 9 Fault 4.999 %	**Transformer 4 Fault 94.52 %** **Line 9 Fault 42.52 %** Transformer 3 Fault 15.15 %
166. CB5 , CB9, CB13 ,TMR1 , CB6 CB10, CB16, TMR2	**Transformer 2 Fault 99.87 %** **Transformer 1 Fault 9.329 %** Line 4 Fault 0.05216 %	**Transformer 2 Fault 78.11 %** **Busbar B Fault 12.96 %** Line 4 Fault 7.958 %	**Line 4 Fault 6.82 %** **Line 2 Fault 4.598 %** Busbar C Fault 4.284 %	**Transformer 1 Fault 76.92 %** **Transformer 2 Fault 68.37 %** Busbar B Fault 6.227 %
167. CB5 , CB9, CB13 ,TMR1 , CB14 CB24,TMR3	**Transformer 3 Fault 90.58 %** **Transformer 1 Fault 70.48 %** Line 4 Fault 0.5937 %	**Transformer 3 Fault 84.03 %** **Transformer 1 Fault 78.66 %** Busbar A Fault 1.106 %	**Busbar B Fault 21.97 %** **Busbar C Fault 2.59 %** Line 4 Fault 2.388 %	**Transformer 4 Fault 65.49 %** **Busbar A Fault 41.98 %** Transformer 1 Fault 18.01 %

168. CB5 , CB9, CB13 ,TMR1 ,CB17 CB27,TMR4	**Transformer 1 Fault 85.12 %** **Transformer 4 Fault 1.814** % Line 4 Fault 0.1097 %	**Transformer 1 Fault 96.27 %** **Transformer 4 Fault 4.391 %** Busbar B Fault 3.942 %	**Transformer 1 Fault 79.54 %** **Transformer 4 Fault 6.161 %** Busbar C Fault 1.639 %	**Transformer 1 Fault 92.5 %** **Transformer 4 Fault 18.45 %** Line 3 Fault 0.8581 %
169. CB6 , CB10 ,CB16 ,TMR2 ,CB14 CB24,TMR3	**Transformer 2 Fault 99.3 %** **Transformer 3 Fault 18.06** % Busbar F Fault 0.09248 %	**Transformer 2 Fault 83.33 %** **Transformer 3 Fault 62.19 %** Transformer 4 Fault 9.79 %	**Transformer 2 Fault 94.88 %** **Transformer 3 Fault 5.87 %** Line 4 Fault 0.4483 %	**Line 2 Fault 36.73 %** **Line 5 Fault 4.927 %** Transformer 2 Fault 2.575 %
170. CB6 , CB10 ,CB16 ,TMR2 ,CB14 CB24,TMR3	**Transformer 2 Fault 97.52 %** **Busbar F Fault 3.963 %** Transformer 4 Fault 2.104 %	**Transformer 2 Fault 70.4 %** **Transformer 4 Fault 38.12 %** Transformer 3 Fault 17.07 %	**Transformer 2 Fault 86.82 %** **Transformer 4 Fault 19.35 %** Busbar D Fault 0.6091 %	**Busbar B Fault 31.19 %** **Transformer 2 Fault 30.15 %** Busbar D Fault 14.74 %
171. CB14, CB24 ,TMR3 ,CB17 ,CB27 TMR4	**Transformer 3 Fault 93.15 %** **Transformer 4 Fault 1.869 %** Busbar F Fault 0.2875 %	Transformer 3 Fault 98.95 % Transformer 4 Fault 38.76 % Busbar A Fault 0.6567 %	**Transformer 3 Fault 81.47 %** **Transformer 4 Fault 79.25 %** Busbar C Fault 0.8978 %	**Transformer 3 Fault 77.59 %** **Transformer 4 Fault 53.22 %** Line 9 Fault 1.934 %

บทที่ 8

บทวิจารณ์และสรุป

(The critic & The result)

คุณลักษณะข้อดีต่างๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกันกับลักษณะของปัญหาในการหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างมาก ซึ่งก็คือการใช้งานโครงข่ายในการทำรูปแบบให้สมบูรณ์ (Pattern Completion) เช่นเดียวกับปัญหาการจดจำตัวอักษรเป็นต้น

ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะพบว่าให้ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก และถึงแม้ว่าโครงข่ายจะถูกฝึกหัดด้วยข้อมูลจากสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานเมื่อเกิดฟอล์ตขึ้นตำแหน่งเดียว (Single Fault) แต่ความรู้ที่สร้างขึ้นในโครงข่าย จะมีประสิทธิภาพที่ดีในระดับหนึ่งต่อการบอกถึงตำแหน่งที่เกิดฟอล์ตแบบหลายตำแหน่งในเวลาพร้อมกันได้ (Multiple or Simultaneous Fault) และโครงข่ายมีความรวดเร็วในการตอบสนองที่เอาท์พุทสูงมาก ดังนั้นจะสามารถปรับปรุงโครงข่ายให้ทำงานในลักษณะเรียล-ไทม์ (Real - Time) ได้เป็นอย่างดี

ในการปรับปรุงผลลัพธ์จากโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นจะต้องใช้จำนวนของรูปแบบในการฝึกหัดโครงข่ายที่มีจำนวนที่มากขึ้น หรืออาจจะเพิ่มเติมข้อมูลคู่อินพุท-เอาท์พุท ในลักษณะพิเศษจากประสบการณ์ความชำนาญจากผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น สัญญาณบอกเหตุในการปลดอุปกรณ์เพื่อทำการบำรุงรักษา (Maintenance) หรือการเปิดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ เป็นต้น โดยจะทำให้โครงข่ายมีความสามารถในการตัดสินใจที่ใกล้เคียงกับมนุษย์มากยิ่งขึ้น ส่วนการปรับปรุงความเร็วที่สูงขึ้นอีกจะต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ , ระบบปฏิบัติการของระบบ และลักษณะของโปรแกรมที่เขียนขึ้น หรืออีกทางหนึ่งคือเปลี่ยนแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมในลักษณะอื่นๆ เช่นแบบจำลองออโต้แอสโซซิเอทีฟ เมมโมรี่ (Associative memory) [1] .

ข้อเสียที่สำคัญของการใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับในโครงข่ายประสาทเทียมแบบทำนวณไปข้างหน้า คือใช้เวลาในการฝึกหัดโครงข่ายนาน (ใช้จำนวนรอบในการปรับค่าน้ำหนักที่สูง) และค่าความผิดพลาดของโครงข่ายยังติดอยู่ในจุดต่ำสุดแบบโลคอล (Local Minimum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือช่วงต่ำสุดแบบชั่วคราว (Temporary Minimum) แต่สามารถแก้ไขได้จากการปรับปรุงอัลกอริทึมในการฝึกหัดโครงข่าย เช่นการใช้โมเมนตัม , ขบวนการ Aitken ' Δ^2 [27] หรือ อัลกอริทึมชนิดอื่นๆ [28] [29] เป็นต้น.

การปรับปรุงประสิทธิภาพของโครงข่าย อาจจะใช้การปรับปรุง หรือเปลี่ยนชนิดของโครงข่าย เช่นการเปลี่ยนจำนวนของหน่วยในชั้นซ่อนที่เหมาะสมในโครงข่ายแบบคำนวณไปข้างหน้า (Feed-Forward Neural Networks) [30] แต่ก็ยังไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในการกำหนดจำนวนของนิวรอนที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาเริ่มต้น ทั้งนี้ถ้ามีการกำหนดจำนวนของนิวรอนที่น้อยเกินไปจะทำให้โครงข่ายไม่สามารถเรียนรู้รูปแบบทั้งหมดได้ นั่นคือโครงข่ายไม่สามารถสร้างขอบเขตการตัดสินใจ (Decision Region) ต่อกลุ่มปัญหาทั้งหมดได้ ส่วนในกรณีที่ใช้จำนวนนิวรอนในโครงข่ายที่มากเกินไปจะทำให้นิวรอนบางส่วนสร้างขอบเขตการตัดสินใจที่มีความอิสระมากเกินไป และยังเสียเวลาอย่างมากในขบวนการเรียนรู้ของโครงข่าย.

การเปลี่ยนรูปแบบของอินพุทก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีการพัฒนาใช้ เช่นการใช้ค่ากระแสและแรงดันที่ตำแหน่งรีเลย์ป้องกันนั้นๆ เป็นรูปแบบของกลุ่มข้อมูลอินพุท [3] ซึ่งจะทำให้สามารถพัฒนาให้โครงข่ายมีความสามารถที่มากขึ้นได้.

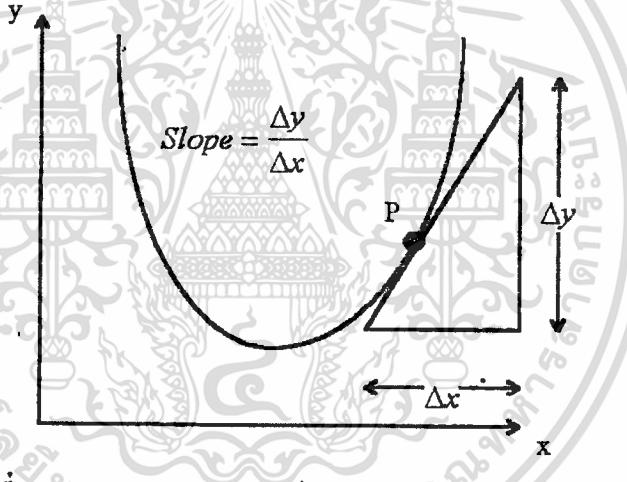
ลักษณะการโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมก็เป็นส่วนหนึ่งซึ่งจะขยายขีดความสามารถในการทำงานของโครงข่าย โดยใช้ผลของการตัดสินใจจากโครงข่ายร่วมกับฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นในการวิเคราะห์ถึงรายละเอียดต่างๆ เช่นการบอกรายละเอียดของอุปกรณ์ที่มีการทำงานที่ผิดพลาด ข้อมูลอายุการใช้งานของอุปกรณ์ และข้อมูลในการซ่อมแซมอุปกรณ์ เป็นต้น โดยข้อมูลเหล่านี้จะเป็นเครื่องประกอบในการตัดสินใจการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ควบคุมระบบ ในการวางแผนซ่อมแซมระบบและออกแบบระบบให้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ถ้าระบบที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์อย่างถูกต้องและมีเหตุผลครบถ้วนในทุกๆ กรณี ก็สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในระบบจริง หรือสามารถที่จะใช้สั่งงานระบบต่อไปได้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
พื้นฐานทฤษฎีเกรเดียนเดสเซนต์

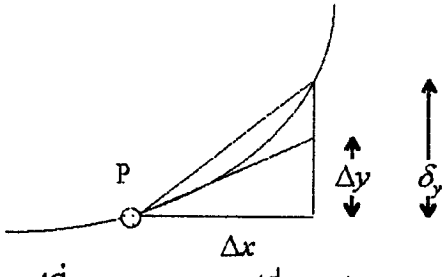
การหาจุดต่ำสุดของฟังก์ชันจากทฤษฎีของเกรเดียนเดสเซนต์ (Gradient Descent)

ถ้ากำหนดความสัมพันธ์ของฟังก์ชั่นหนึ่ง ซึ่ง y เป็นฟังก์ชันของ x แต่ไม่รู้ถึงค่าที่แน่นอนจากฟังก์ชั่น ซึ่งขบวนการที่จะหาตำแหน่ง (x - coordinate) ของค่าที่ต่ำสุดของฟังก์ชันจะได้จากการหาความชัน (อัตราการเปลี่ยนแปลงของ y) ที่ทุกๆ จุด ดังนั้นค่าความชันจะเป็น $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ ซึ่งดังแสดงไว้ในรูป



รูปที่ ก-1 แสดงความสัมพันธ์ของความชันจากสมการ

ความชันของฟังก์ชันที่ทุกๆจุดในเกรเดียนท์ จะมีค่าเท่ากับค่าแทนเจนท์ (Tangent) ของจุด ในเส้นโค้ง (Curve) โดยถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Δx ที่มีค่าน้อยมาก ดังนั้น Δy จะเกือบมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลง δy ในฟังก์ชัน y ดังรูป



รูปที่ ก-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ $$\delta y \approx \Delta y = \frac{\Delta y}{\Delta x}\Delta x$$

ดังนั้น

$$\delta y \approx \text{slope} \times \Delta x$$

และถ้าให้ $$\Delta x = -\alpha \times \text{slope}$$

โดย $\alpha > 0$ และมีค่าน้อยเพียงพอที่จะทำให้แน่ใจว่า $\delta y \approx -\alpha (\text{slope})^2$

ลักษณะที่ $\delta y < 0$ หมายถึงว่ามีการเคลื่อนที่ลงจากเส้นโค้งไปยังจุดที่ต่ำสุดของฟังก์ชั่น ดังนั้นถ้ามีรอบการคำนวณที่เป็นขั้นตอนโดยซ้ำกัน ค่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าของ x ที่ใกล้เข้ามายังจุดโดยทำให้ฟังก์ชันมีค่าน้อยที่สุด เทคนิคนี้จะเรียกว่าเกรเดียนเดสเซนต์ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้แบบต่างๆ เช่น การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ ที่มีเป้าหมายในการหาค่าน้ำหนักไซแนปส์ทุกค่าในโครงข่ายที่ทำให้ความผิดพลาดโดยรวมมีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รายละเอียดโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

```
%  Matlab Version 4.2c.1 for Windows Program.
%
%  ' Fault Location  Analysis In the Power System Using
%                  the Artificial Neural Network '
%
%  Uses Back-Propagation Learning Algorithm.
%
%  Build on 10/08/96
%  LastEditDate on 05/02/97

%  Initial setting.

clear all;
help fault;

nb_in = 47;          % The number of input neurals.
nb_out = 19;         % The number of output neurals.
nb_hid = 3;          % The number of hidden layers.
nb_pattern = 19;     % The number of training patterns.
nb_analysis = 50;    % The number of analysis patterns.
nb_hid_st = 94;      % The number of first hidden layer
neurals.
nb_hid_nd = 94;      % The number of second hidden layer
neurals.
nb_hid_rd = 94;      % The number of third hidden layer
neurals.
Bias = 1;            % Set Bias on each neural.
Permissible = 0.001;    % Permissible error.
Gain_Term = 0.8;     % Used in Back-propagation training
algorithm.
Momentum = 0.2;      % Used in Back-propagation training
algorithm.
Pause_R = 0.01;          % Times for read result.
Limitation = 70;     % Satisfactory limitation.
load c:\Matlab\Project\TrainDT.mat;
global Stop;

%  Internal node thresholds are adapted in a similar
manner by assuming
%  they are connection weights on links from auxiliary
constant-valued inputs.

in_mt = zeros([1, nb_in+1]);     % Input matrix.
in_mt(1, nb_in+1) = Bias;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
out_mt = zeros([1, nb_out]);    % Output matrix.

% First hidden layer output matrix.
out_hid_st_mt = zeros([1, nb_hid_st+1]);
out_hid_st_mt(1, nb_hid_st+1) = Bias;

% Second hidden layer output matrix.
out_hid_nd_mt = zeros([1, nb_hid_nd+1]);
out_hid_nd_mt(1, nb_hid_nd+1) = Bias;

% Third hidden layer output matrix.
out_hid_rd_mt = zeros([1, nb_hid_rd+1]);
out_hid_rd_mt(1, nb_hid_rd+1) = Bias;


% Initialize weight and bias , select from menu

WRandom = [...
           'set([BPTrain_H Analysis_H Load_H Save_H
Exit_H],''Enable'',''off'');'...
           'menu1 = menu(''Initialize The Connection
Strengths'',''Random values and multiply by
0.8'',''Random values and multiply by 0.6'',''Random
values and multiply by 0.4'',''Random values and
multiply by 0.2'',''Use this weights'');'...
            'disp('' '');'...
            'w1_mt = randn([nb_in+1, nb_hid_st]);'...
            'w2_mt = randn([nb_hid_st+1,
nb_hid_nd]);'...
            'w3_mt = randn([nb_hid_nd+1,
nb_hid_rd]);'...
            'w4_mt = randn([nb_hid_rd+1, nb_out]);'...
           'if menu1 == 1,'...
              'w1_mt = 0.8*w1_mt;'...
              'w2_mt = 0.8*w2_mt;'...
              'w3_mt = 0.8*w3_mt;'...
              'w4_mt = 0.8*w4_mt;'...
           'elseif menu1 == 2,'...
               'w1_mt = 0.6*w1_mt;'...
               'w2_mt = 0.6*w2_mt;'...
               'w3_mt = 0.6*w3_mt;'...
               'w4_mt = 0.6*w4_mt;'...
           'elseif menu1 == 3,'...
               'w1_mt = 0.4*w1_mt;'...
               'w2_mt = 0.4*w2_mt;'...
               'w3_mt = 0.4*w3_mt;'...
               'w4_mt = 0.4*w4_mt;'...
           'elseif menu1 == 4,'...
               'w1_mt = 0.2*w1_mt;'...
               'w2_mt = 0.2*w2_mt;'...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                'w3_mt    0.2*w3_mt;'...
                'w4_mt = 0.2*w4_mt;'...
            'end;'...
          'clear menu1 MENU_VARIABLE;'...
          'set([BPTrain_H Analysis_H Load_H Save_H
Exit_H],''Enable'',''on'');'];

% The Back-Propagation Training Method.
% Uses the log-sigmoid activation.
% Follow  ' Neural Networks,  IEEE PRESS ' book.
% The momentum term is used.

BPTrain = [...
           'set(Stop_H,''Enable'',''on'');'...
           'set([WRandom_H BPTrain_H Analysis_H Load_H
Exit_H],''Enable'',''off'');'...

'uicontrol(figC,''Style'',''text'',''Position'',[15 5
300 20],''Horiz'',''center'',''String'',''Training
Process ...
loops.'',''Fore'',[1 .1 .1],''Back'',[0 0 0]); '...
           'w1_old = w1_mt;'...
           'w2_old = w2_mt;'...
           'w3_old = w3_mt;'...
           'w4_old = w4_mt;'...
           'SumSqrErr = [Permissible+0.001];'...
           'Stop = 0;'...
           'loop = 1;'...
           'last = 1;'...
           'x = linspace(0,2*pi,19);'...
           'xx = cos(x);'...
           'yy = sin(x);'...
           'set(figE,''Visible'',''on'');'...
           'while SumSqrErr(1, last) > Permissible &
Stop == 0, '...
              'for pat = 1:nb_pattern;'...
                 'if Stop == 1;'...
                    'break;'...
                 'end;'...
                 'in_mt(1:nb_in) =
Pattern_mt(pat,:);'...
                 'out_hid_st_mt(1:nb_hid_st) =
logsig(in_mt*w1_mt);'...
                 'out_hid_nd_mt(1:nb_hid_nd) =
logsig(out_hid_st_mt*w2_mt);'...
                 'out_hid_rd_mt(1:nb_hid_rd) =
logsig(out_hid_nd_mt*w3_mt);'...
                 'out_mt =
logsig(out_hid_rd_mt*w4_mt);'...
                 'Result =
find(out_mt==max(out_mt));'...
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                'FText = location(Result);'...
                'Out_pattern = Target_mt(pat,:);'...
                'Percent = num2str(out_mt(Result) *
100);'...
                'figure(figA);'...
                    'subplot(333);'...
                    'bar(Out_pattern);'...
                    'subplot(336);'...
                    'bar(out_mt);'...
                'NetsError = Out_pattern - out_mt;'...
                'Error_Term4 = out_mt.*(1-
out_mt).*NetsError;'...
                'DeltaW4 = Gain_Term*Error_Term4;'...
                'DeltaW4 =
transp(out_hid_rd_mt)*DeltaW4;'...
                'w4_new = w4_mt + DeltaW4 +
(Momentum*(w4_mt - w4_old));'...
                'w4_old = w4_mt;'...
                'w4_mt = w4_new;'...
                'Error_Term3 =
out_hid_rd_mt(1:nb_hid_rd).*(1-
out_hid_rd_mt(1:nb_hid_rd)).*(Error_Term4*transp(w4_mt(1
:nb_hid_rd,1:nb_out)));'...
                'DeltaW3 = Gain_Term*Error_Term3;'...
                'DeltaW3 =
transp(out_hid_nd_mt)*DeltaW3;'...
                'w3_new = w3_mt + DeltaW3 +
(Momentum*(w3_mt - w3_old));'...
                'w3_old = w3_mt;'...
                'w3_mt = w3_new;'...
                'Error_Term2 =
out_hid_nd_mt(1:nb_hid_nd).*(1-
out_hid_nd_mt(1:nb_hid_nd)).*(Error_Term3*transp(w3_mt(1
:nb_hid_nd,1:nb_hid_rd)));'...
                'DeltaW2 = Gain_Term*Error_Term2;'...
                'DeltaW2 =
transp(out_hid_st_mt)*DeltaW2;'...
                'w2_new = w2_mt + DeltaW2 +
(Momentum*(w2_mt - w2_old));'...
                'w2_old = w2_mt;'...
                'w2_mt = w2_new;'...
                'Error_Term1 =
out_hid_st_mt(1:nb_hid_st).*(1-
out_hid_st_mt(1:nb_hid_st)).*(Error_Term2*transp(w2_mt(1
:nb_hid_st,1:nb_hid_nd)));'...
                'DeltaW1 = Gain_Term*Error_Term1;'...
                'DeltaW1 = transp(in_mt)*DeltaW1;'...
                'w1_new = w1_mt + DeltaW1 +
(Momentum*(w1_mt - w1_old));'...
                'w1_old = w1_mt;'...
                'w1_mt = w1_new;'...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'uicontrol(figC,''Style'',''text'',''Position'',[225 5
30
20],''Horiz'',''center'',''String'',num2str(loop),''Fore
'',[.1 1 1],''Back'',[0 0 0]); '...
                'loop = loop + 1;'...
                'SqrErr(1, loop) =
sum(sum(NetsError.*NetsError));'...
                'figure(figA);'...
               'subplot(132);'...
               'if loop >= 21,'...
                    'plot3(xx(19:-1:1),yy(19:-
1:1),SqrErr((loop-19):loop-1));'...
                'else,'...
                   'plot3(xx(loop-1:-1:1),yy(loop-1:-
1:1),SqrErr(2:loop));'...
                'end;'...
                'grid;'...
                'end;'...
                 'last = last + 1;'...
                 'SumSqrErr(1, last) = sum(SqrErr(1,
(loop-18):loop)) / 38;'...
                 'figure(figE);'...
                 'plot(SumSqrErr,''m-'');'...
            'end;'...
         'clear DeltaW1 DeltaW2 DeltaW3 DeltaW4
Error_Term1 Error_Term2 Error_Term3 Error_term4 w1_new
w2_new w3_new w4_new w1_old w2_old w3_old w4_old
SumSqrErr SqrErr;'...
         'figure(figC);'...
         'clf;'...

'uicontrol(figC,''Style'',''text'',''Position'',[20 5
100 20],''Horiz'',''center'',''String'',''No
Operation.'',''Fore'',[.1 .1 1],''Back'',[0 0 0]);'...
         'set(figE,''Visible'',''off'');'...
         'set(Stop_H,''Enable'',''off'');'...
         'set([WRandom_H BPTrain_H Analysis_H Load_H
Exit_H],''Enable'',''on'');'];

Analysis = [...
            'set(Stop_H,''Enable'',''on'');'...
            'set([WRandom_H Load_H BPTrain_H Analysis_H
Exit_H],''Enable'',''off'');'...
            'Stop = 0; loop = 0;'...
            'menu1 = menu(''Choose The
Pattern'',''Single Fault'',''Simultaneous
Fault'',''Other Pattern'');'...
            'disp('' '');'...
                'if menu1 == 1,'...
                    'load c:\Matlab\Project\an.mat;'...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    'load
c:\matlab\project\target_a.mat;'...
                  'elseif menu1 == 2,'...
                    'load
c:\Matlab\Project\double_F.mat;'...
                  'elseif menu1 == 3,'...
                    'load
c:\Matlab\Project\Odata.mat;'...
                  'end;'...
              '[nb_analysis c] = size(Analysis_mt);'...
              'set([figF figG],''Visible'',''on'');'...

'uicontrol(figD,''Style'',''text'',''Position'',[15 5
240 20],''Horiz'',''left'',''String'',''Analysis CPU
Times in sec :  '',''Fore'',[1 1 .1],''Back'',[0 0
0]);'...
              'for pat = 1:nb_analysis ;'...
                 'if Stop == 1;'...
                       'break;'...
                        'end;'...
                  'T0 = clock;'...
                  'in_mt(1:nb_in) =
Analysis_mt(pat,:);'...
                   'out_hid_st_mt(1:nb_hid_st) =
logsig(in_mt*w1_mt);'...
                   'out_hid_nd_mt(1:nb_hid_nd) =
logsig(out_hid_st_mt*w2_mt);'...
                   'out_hid_rd_mt(1:nb_hid_rd) =
logsig(out_hid_nd_mt*w3_mt);'...
                   'out_mt =
logsig(out_hid_rd_mt*w4_mt);'...
                    'ATime = num2str(etime(clock,
T0));'...

'uicontrol(figD,''Style'',''text'',''Position'',[200 5
50 20],''Horiz'',''center'',''String'',ATime,''Fore'',[1
.1 .1],''Back'',[0 0 0]);'...
                    'Result =
find(out_mt==max(out_mt));'...
                  'FText = location(Result);'...
                  'Out_pattern = ATarget_mt(pat,:);'...
                  'Percent = num2str(out_mt(Result) *
100);'...
                  'NetsError = Out_pattern - out_mt;'...
                  'figure(figA);'...
                       'subplot(333);'...
                       'bar(Out_pattern);'...
                       'subplot(336);'...
                       'bar(out_mt);'...
                 'if (out_mt(Result) * 100) >
Limitation,'...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[35 85
115
20],''Horiz'',''right'',''String'',FText,''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[150 85
60
20],''Horiz'',''center'',''String'',Percent,''Fore'',[1
.1 .1],''Back'',[0 0 0]);'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[206 85
15
20],''Horiz'',''center'',''String'',''%'',''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                        'True_vec =
Pattern_mt(Result,:);'...
                        'relay_vec = True_vec-
in_mt(1:nb_in);'...
                        'relay_str =
find(relay_vec==max(relay_vec));'...
                        '[r, c] = size(relay_str);'...
                       'figure(figG);'...
                       'clf;'...
                     'if max(relay_vec) == 0,'...

'uicontrol(figG,''Style'',''text'',''Position'',[20, 85
150 20],''Horiz'',''center'',''String'',''Complete Alarm
Message.'',''Fore'',[.1 1 .1],''Back'',[0 0 0]);'...
                       'else;'...
                         'for i = 1:c;'...
                           'FText = namerela(relay_str(1,
i));'...

'uicontrol(figG,''Style'',''text'',''Position'',[40*i-
20, 85 40
20],''Horiz'',''center'',''String'',FText,''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                             'end;'...
                      'end;'...
                      'else;'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[15 85
230 20],''Horiz'',''center'',''String'',''Lower
satisfactory limitation.'',''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                      'end;'...
                      'out_mt(1, Result) = 0;'...
                      'Result = find(out_mt ==
max(out_mt));'...
                      'FText = location(Result);'...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    'Percent = num2str(out_mt(Result) *
100);'...
                   'if (out_mt(Result) * 100) >
Limitation,'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[35 45
115
20],''Horiz'',''right'',''String'',FText,''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[150 45
60
20],''Horiz'',''center'',''String'',Percent,''Fore'',[1
.1 .1],''Back'',[0 0 0]);'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[206 45
15
20],''Horiz'',''center'',''String'',''%'',''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                    'True_vec =
Pattern_mt(Result,:);'...
                    'relay_vec = True_vec-
in_mt(1:nb_in);'...
                    'relay_str =
find(relay_vec==max(relay_vec));'...
                   '[r, c] = size(relay_str);'...
                  'if max(relay_vec) ~= 0,'...
                   'for i = 1:c;'...
                     'FText = namerela(relay_str(1,
i));'...

'uicontrol(figG,''Style'',''text'',''Position'',[40*i-
20, 45 40
20],''Horiz'',''center'',''String'',FText,''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                    'end;'...
                  'end;'...
                  'else;'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[15 45
230 20],''Horiz'',''center'',''String'',''Lower
satisfactory limitation.'',''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                   'end;'...
                  'out_mt(1, Result) = 0;'...
                  'Result = find(out_mt ==
max(out_mt));'...
                  'FText = location(Result);'...
                  'Percent = num2str(out_mt(Result) *
100);'...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    'if (out_mt(Result) * 100) >
Limitation,'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[35 5
115
20],''Horiz'',''right'',''String'',FText,''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[150 5
60
20],''Horiz'',''center'',''String'',Percent,''Fore'',[1
.1 .1],''Back'',[0 0 0]);'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[206 5
15
20],''Horiz'',''center'',''String'',''%'',''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                    'True_vec =
Pattern_mt(Result,:);'...
                    'relay_vec = True_vec-
in_mt(1:nb_in);'...
                    'relay_str =
find(relay_vec==max(relay_vec));'...
                    '[r, c] = size(relay_str);'...
                    'if max(relay_vec) ~= 0,'...
                    'for i = 1:c;'...
                        'FText = namerela(relay_str(1,
i));'...

'uicontrol(figG,''Style'',''text'',''Position'',[40*i-
20, 5 40
20],''Horiz'',''center'',''String'',FText,''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                        'end;'...
                    'end;'...
                    'else;'...

'uicontrol(figF,''Style'',''text'',''Position'',[15 5
230 20],''Horiz'',''center'',''String'',''Lower
satisfactory limitation.'',''Fore'',[.1 1
.1],''Back'',[0 0 0]);'...
                    'end;'...
                'loop = loop + 1;'...
                'SumSqrErr(1, loop) =
sum(sum(NetsError.*NetsError))/2;'...
                 'figure(figA);'...
                 'subplot(132);'...
             'if loop >= 22,'...
                  'plot(SumSqrErr((loop-21):loop
));'...
                'else,'...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    'plot(SumSqrErr);'...
                  'end;'...
                '[x,y] = ginput(1);'...
                'end;'...
              'set([figF figG],''Visible'',''off'');'...
              'set(Stop_H,''Enable'',''off'');'...
              'set([WRandom_H BPTrain_H Analysis_H Load_H
Save_H Exit_H],''Enable'',''on'');' ];

LoadW = [...
           'set([WRandom_H BPTrain_H Analysis_H
Save_H],''Enable'',''off'');'...
           'menu1 = menu(''Load Weights From
...'',''Floppy Disk'',''Hard Disk ( Path \Matlab\Project
)'');'...
             'if menu1 == 1,'...
               'load a:\Weights.mat;'...
             'else,'...
               'load
c:\Matlab\Project\f94node\Weigh942.mat;'...
             'end;'...
           'set([WRandom_H BPTrain_H Analysis_H
Save_H],''Enable'',''on'');'];

SaveW = [...
           'set([BPTrain_H Analysis_H Load_H Save_H
Exit_H],''Enable'',''off'');'...
           'menu1 = menu(''Save Menu'',''Save to original
weights'',''Save to backup weights'');'...
             'disp(' '');'...
            'if menu1 == 1,'...
               'save c:\Matlab\Project\Weigh247.mat
w1_mt w2_mt w3_mt w4_mt;'...
            'elseif menu1 == 2,'...
               'save c:\Matlab\Project\BWeig247.mat
w1_mt w2_mt w3_mt w4_mt;'...
           'end;'...
           'set([BPTrain_H Analysis_H Load_H Save_H
Exit_H],''Enable'',''on'');'...
           'clear menu1;'];

Exit = [...
         'close([figA figB figC figD figE figF
figG]);'...
         'clear all;'];


% Create and display control windows
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
figA = figure('Position',[5 5 790
265],'Name','Artificial Neural Networks Windows Control
...',...

'NumberTitle','off','Resize','off','Interruptible','no')
;
clf;
uicontrol('Style','frame','Position',[5 5 140
250],'BackgroundColor',[0.5 0.5 0.5]);

% Create user interface controls.

WRandom_H = uicontrol('Style','push','Position',[10 220
130 30],...
                'String','Random Weights','Back',[0 0
0],...

'Interruptible','yes','CallBack',WRandom);

BPTrain_H = uicontrol('Style','push','Position',[10 185
130 30],...
                'String','Back-P training','Back',[0 0
0],...

'Interruptible','yes','CallBack',BPTrain,'Enable','off')
;

Analysis_H = uicontrol('Style','push','Position',[10 150
130 30],...
                'String','Pattern Analysis','Back',[0 0
0],...

'Interruptible','yes','CallBack',Analysis,'Enable','off'
);

Load_H = uicontrol('Style','push','Position',[10 115 130
30],...
                'String','Load Weights','Back',[0 0
0],...

'Interruptible','yes','CallBack',LoadW);

Save_H = uicontrol('Style','push','Position',[10 80 130
30],...
                'String','Save Weights','Back',[0 0
0],...

'Interruptible','yes','CallBack',SaveW,'Enable','off');

Stop_H = uicontrol('Style','push','Position',[10 45 130
30],...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                'String','Stop !','Back',[0 0 0],...
                'Interruptible','yes','CallBack','Stop
= 1;','Enable','off');

Exit_H = uicontrol('Style','push','Position',[10 10 130
30],...
                'String','Exit','Back',[0 0 0],...

'Interruptible','yes','CallBack',Exit,'Enable','off');


% Create and display fault location Windows.


figB = figure('Position',[550 318 245 40],'Name','Fault
Location ...',...

'NumberTitle','off','Resize','off','MenuBar','none');
clf;
FText = 'No Operation.';
uicontrol('Style','text','Position',[20 5 100
20],'Horiz','center',...
          'String',FText,'Fore',[.1 .1 1],'Back',[0 0
0]);

% Create training display windows.

figC = figure('Position',[190 318 330 40],'Name','Train
Status ...',...

'NumberTitle','off','Resize','off','MenuBar','none');
clf;
uicontrol('Style','text','Position',[20 5 100
20],'Horiz','center',...
        'String',FText,'Fore',[.1 .1 1],'Back',[0 0 0]);

% Create analysis display windows.

figD = figure('Position',[190 386 300 40],'Name','Alarm
Messages Analysis Status ...',...

'NumberTitle','off','Resize','off','MenuBar','none');
clf;
uicontrol('Style','text','Position',[20 5 100
20],'Horiz','center',...
       'String',FText,'Fore',[.1 .1 1],'Back',[0 0 0]);

% Create and display Back-Propagation Training Method
SumSqrErr versus the iterations windows.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
figE = figure('Position',[5 480 790 110],'Name','Sum-
Square-Errors of Back-Propagation Training Method
...',...

'NumberTitle','off','Resize','off','Visible','off');

% Create and display analysis locations windows.

figF = figure('Position',[540 320 255
120],'Name','Simultaneous Fault Locations ...',...

'NumberTitle','off','Resize','off','MenuBar','none','Vis
ible','off');
clf;

% Create and display the loss of alarm messages
locations windows.

figG = figure('Position',[5 500 450 120],'Name','Faulty
Relay Locations ...',...

'NumberTitle','off','Resize','off','MenuBar','none','Vis
ible','off');
clf;
uicontrol('Style','text','Position',[20 85 100
20],'Horiz','center',...
          'String',FText,'Fore',[.1 .1 1],'Back',[0 0
0]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือ และสนับสนุนจาก ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] A.P. Alves da Silva , A.H.F. Insfran , P.M. da Silverira and G. Lambert-Torres , ' Neural Networks for Fault Location in Substations ' , IEEE Transaction on Power Delivery , Vol. 11 , No. 1, pp. 234-239 , January 1996.

[2] Clemente Rodriguez , Santiago Rementeria , Jose Ignacio Martin , Alberto Lafuente , Javier Muguerza and Juan Perez , ' A Modular Neural Network Approach to Fault Diagnosis ' , IEEE Transaction on Neural Networks , Vol. 7 , No. 2 , pp. 326-339 , March 1996.

[3] Thomas Dalstein , Thomas Friedrich , Bernd Kulicke and Dejan Sobajic , ' Multi Neural Network Based Fault Area Estimation for High Speed Protective Relaying ' , IEEE Transactions on Power Delivery , Vol. 11 , No. 2 , pp. 740-747 , April 1996.

[4] M. Kezunovic, M.F. Fernandes , D.R. Sevcik , A. Hertz , S. Fukui and C.C. Liu , ' Fault Analysis Using Intelligent Systems ' , IEEE Power Engineering Review , Vol. 6 , No. 6 , pp. 7-11 , June 1996.

[5] Santiago Rementeria , Clemente Rodriguez , Juan Perez , J. Ignacio Martin , Alberto Lafuente and Javier Muguerza , ' Expert Systems & Neural Networks in Power Grid Fault Diagnosis : An Empirical Comparison ' , International Journal of Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications , Vol. 3 , No. 1 , pp. 33-44 , March 1995.

[6] Hideo Tanka and Takeuchi Sakurai , ' Study of an Operational Intelligent System's Application to Power Systems ' , International Journal of Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications , Vol. 3 , No. 1 , pp. 17-23 , March 1995.

[7] Hong - Tzer , Wen - Yeau Chang and Ching - Lien Huang , ' A New Neural Networks Approach to On - Line Fault Section Estimation Using Information of Protective Relays and Circuit Breakers ' , IEEE Transactions on Power Delivery , Vol. 9 , No. 1 , pp. 220-230 , January 1994.

[8] M. Kezunovic , Igor Rikalo and D.J. Sobajic , ' High - Speed Fault Detection and Classification With Neural Nets ' , Electric Power System Research 34 , pp. 109-116. , 1995.

[9] Damitha K. Ranawecra , ' Comparison of Neural Network Models for Fault Diagnosis of Power Systems ' , Electric Power System Research 29 , pp. 99-104 , 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] N. Kandil , V.K. Sood , K. Khorasani and R.V. Patel , ' Fault Identification in an AC-DC Transmission System Using Neural Networks ' , IEEE Transactions on Power Systems , Vol. 7 , No. 2 , pp. 812-819 , May 1992.

[11] Anthony A. Kempka , ' Activating Neural Networks : Part I ' , AI Expert , pp. 33-37 , June 1994.

[12] Anthony A. Kempka , ' Activating Neural Networks : Part II ' , AI Expert , pp. 42-49 , August 1994.

[13] Granino A. Korn , ' Interactive Neural Network Simulation : A Textbook Pattern Recognition Problem Yields to Art - Enhanced Counterpropagation ' , Computer Applications in Engineering Education , Vol. 3(2) , pp. 79-88 , 1995.

[14] Hojjat Adeli and Ahih-Lin Hung , ' Machine Learning : Neural Networks , Genetic Algorihtms and Fuzzy Systems ' , John Wiley & Sons. Inc. , 1995.

[15] Anne - Johan Annema , ' Feed - Forward Neural Networks : Vector Decomposition Analysis , Modeling and Analog Implementation ' , Kluwer Academic Publishers , 1995.

[16] Stamatios V. Kartalopoulos , Ph.D. , ' Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic : Basic Concepts and Applications ' , IEEE Press Understanding Science & Technology Series , 1996.

[17] Duane Hanselman and Bruce Littlefield , ' The Student Edition of MATLAB® : Version 4 User's Guide ' , MathWorks , Inc. , 1995

[18] Chihiro Fukui and Junzo Kawakami , ' An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers ' , IEEE Transaction on Power Delivery , Vol. PWRD-1 , No. 4 , pp. 83-90 , October 1986.

[19] C.A. Protopapes , K.P. Psaltiras and A.V. Machias , ' An Expert System for Substation Fault Diagnosis and Alarm Processing ' , IEEE Transaction on Power System Delivery Vol. 6 , No.2 , pp. 648-655 , April 1991.

[20] A.K. Mahalanabis , D.P. Kothari and S.I. Ahson , ' Computer Aided Power System Analysis and Control ' , McGraw-Hill Inc. , 1988.

[21] Clifford Lau , ' Neural Networks : Theoretical Foundations and Analysis ', IEEE Press ,1992.

[22] B. Ravindranath and M. Chander , ' Power System Protection and Switchgear ' , John Wiley & Sons Ltd. , 1987.

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] Edward H.P. Chan , ' Using Neural Network To Interpret Mulitiple Alarms ' , IEEE Computer Application in Power , pp. 33 - 37 , April 1990.

[24] Ta - Kang Ma , Chen - Ching Liu , Men - Shen Tsai , Ruth Rogers Stephen L. Muchlinski and Jim Dodge , ' Operational Experience and Maintenance of an On - Line Expert System for Customer Restoration and Fault Testing ' , IEEE Transactions on Power System , Vol. 7 , No. 1 , pp. 167-172 , 1992.

[25] Bruce F. Wollenberg and Toshiaki Sakaguchi , ' Artificial Intelligence in Power System Operations ' , Proceeding of the IEEE , Vol. 75 , No. 12 , pp. 1678 - 1685 , 1987.

[26] Dagmer Niebur , ' Artificial Neural Networks for Power Systems : A literature survey ' International Journal of Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications , Vol. 1 , No. 3 , pp. 133-158 , December 1993.

[27] S. B. Cho and J. H. Kim , ' A Fast Back-Propagation Learning Method Using Aitken ' Δ^2 Process ' , Int. Jour. Neural Networls , Vol. 2 , No. 1 , pp. 37-42 , 1991.

[28] S. Becker and Y. Le Cun , ' Improving the Convergence of Back-Propagation Learning with Second-Order Methods ' , Proc. Of the 1988 Connectionist Models Summer School , pp. 29-37 , 1989.

[29] A. Van Ooyen and B. Nienhuis , ' Improving the Convergence of the Back-Propagation Algorithm ' , Neural Networks, Vol. 5 , pp. 465-471 , 1992.

[30] Yoshio Hirose , Koichi Yamashita and Shimpei Hijiya , ' Back-Propagation Algorithm Which Varies the Number of Hidden Units ' , Neural Networks , Vol. 4 , pp. 61-66 , 1991.

[31] Fushuan Wen and Zhenxiang Han , ' Fault Section in Power Systems Using a Genetic Algorithm ' , Electric Power System Research 34 , pp. 165-172. , 1995.

[32] ดร. ธิติพงศ์ ตันประเสริฐ และ ดร. จุฬารัตน์ ตันประเสริฐ , ' โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) อีกแนวแนวทางหนึ่งของการแก้ปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ [ตอนที่ 1] ' , สาร Nectec , หน้า 19-23 , กรกฎาคม - กันยายน , 2538.

[33] ดร. ธิติพงศ์ ตันประเสริฐ และ ดร. จุฬารัตน์ ตันประเสริฐ , ' โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) อีกแนวแนวทางหนึ่งของการแก้ปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ [ตอนที่ 2] ' , สาร Nectec , หน้า 19-23 , ตุลาคม - ธันวาคม , 2538.

[34] ดร. ธิติพงศ์ ตันประเสริฐ และ ดร. จุฬารัตน์ ตันประเสริฐ , ' โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) อีกแนวแนวทางหนึ่งของการแก้ปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ [ตอนที่ 3] ' , สาร Nectec , หน้า 13-17 , มกราคม - กุมภาพันธ์ , 2539.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[35] ดร. สมนึก คีรีโต และ ดร. ประทิต สันติประภพ , ' นิวรอลเน็ตเวิร์ก และ ฟัซซี่ลอจิก ' , สาร Nectec , หน้า 26-42 , พฤษภาคม - มิถุนายน , 2537.

[36] รศ. ปรีชา สุวรรณพินิจ และ ผศ. นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ , ' ชีววิทยา 2 ' , สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , พ.ศ. 2537.

[37] สุชาดา ศรีเพ็ญ , ' ชีววิทยา ' , สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , พ.ศ. 2530.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้